

RESIDUOS DE DISPARO EN CASOS DE SUICIDIO: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

JAVIER MORAIS REDONDO

Tutores

Cruz Valero Abad, Jefe del Servicio de Criminalística
del INTCF

Carmen García Ruiz, Profesora Titular del
Departamento de Química Analítica, Química Física e
Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
CIENCIAS POLICIALES**

(Trabajo fin de Máster – 12 ECTS)

2015-2016

iuicp

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS POLICIALES

ÍNDICE

Listado de abreviaturas	VII
Resumen/Abstract	VIII
1 Introducción	1
1.1 Composición de un cartucho	1
1.1.1 Proyectoil	2
1.1.2 Vaina	3
1.1.3 Carga de proyección	4
1.1.4 Mezcla iniciadora	5
1.2 Materiales de construcción de las armas	6
1.3 Mecanismo del disparo	7
1.4 Residuos de disparo	8
1.4.1 Valor probatorio de los residuos de disparo y desarrollo de las técnicas analíticas a lo largo de la historia	9
1.5 Partículas de GSR	12
1.5.1 Morfología y tamaño	12
1.5.2 Composición y exclusividad	13
1.5.3 Depósito y persistencia	17
1.6 Criterios para el análisis de GSR en los laboratorios forenses de referencia	17
1.6.1 Toma de muestra y tratamiento	18
1.6.2 Fundamento del análisis de GSR por SEM-EDX	19
1.6.3 Criterios de interpretación	20
1.7 El suicidio: definición y marco legal	21
2 Objetivo	23
3 Metodología	24
3.1 Casos de suicidio por arma de fuego estudiados	24
3.2 Análisis de la información	27
4 Resultados y discusión	28
4.1 Estudio estadístico general	28
4.2 Dependencias y variables de interés e interpretación de los resultados más relevantes obtenidos	33

4.2.1	Lugar de recogida de los GSR	34
4.2.2	Interferentes/Mala toma de muestra	35
4.2.3	Fallecimiento tras asistencia médica	36
4.2.4	Arma y Munición (calibre)	38
4.2.5	Condiciones de las manos	44
4.2.6	Remisión de la muestra	45
4.2.7	Toma de muestra previa	47
4.2.8	Lugar de los hechos/Hallazgo del cuerpo	48
4.2.9	Tiempo entre fallecimiento y toma de muestra	49
4.2.10	Profesión del fallecido	50
4.2.11	Otros aspectos a considerar	52
4.3	Propuesta de mejoras	53
5	Conclusiones y recomendaciones	54
5.1	Conclusiones	54
5.2	Recomendaciones	55
6	Bibliografía	56
Anexos	60

Listado de abreviaturas

AAS	Espectroscopia de absorción atómica (Atomic Absorption Spectroscopy)
ASTM	Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales (American Society for Testing and Materials)
BSE	Electrones retrodispersados (Backscattered Electrons)
CE	Constitución Española
CP	Código Penal
ENFSI	Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses (European Network of Forensic Science Institutes)
FCSE	Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado
GSR	Residuo de disparo (Gunshot Residue)
ICP	Plasma de acoplamiento inductivo (Inductively Coupled Plasma)
IML	Instituto de Medicina Legal
INE	Instituto Nacional de Estadística
INTCF	Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses
IVML	Instituto Vasco de Medicina Legal
NAA	Análisis por activación de neutrones (Neutron Activation Analysis)
SE	Electrones secundarios (Secondary Electrons)
SEM-EDX	Microscopía electrónica de barrido - Microanálisis de energía dispersiva de rayos X (Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray microanalysis)
SWGSR	Scientific Working Group for Gunshot Residue

Resumen

Encontrar residuos de disparo (GSR) en las manos de una víctima puede ser un indicio de que ha disparado el arma, lo que es de un valor excepcional en los casos en que se sospecha un suicidio. Las variables que afectan al resultado de un análisis de GSR son numerosas, pudiendo dar lugar incluso a falsos negativos. Se presentan en este trabajo los resultados obtenidos de la investigación de 289 casos de suicidio estudiados en el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses en el periodo de siete años comprendido entre 2009 y 2015. Se han tenido en cuenta tanto los suicidios confirmados como aquellos casos en los que no se podía descartar esta etiología, ya sea por su compatibilidad o por la falta de información recibida. Derivadas de los resultados obtenidos, se proponen una serie de recomendaciones que pueden ser de utilidad para posteriores casos en los que armas de fuego estén involucradas y se requiera la solicitud de un análisis de GSR a los laboratorios forenses de referencia.

Palabras clave

Criminalística, residuos de disparo, GSR inorgánicos, suicidio, análisis, variables, resultados

Abstract

Finding gunshot residue (GSR) in a victim's hands can be a sign that shows they may have shot the firearm. This is very valuable information if the victim is suspected to have committed suicide. The variables that affect GSR analysis results are numerous, sometimes even giving "false negatives". The results of 289 suicide cases, studied by the National Institute of Toxicology and Forensic Sciences between 2009 and 2015, are gathered in this memory. Both confirmed suicide cases and cases where suicide could not be dismissed have been taken into account in this work. From the obtained results, a series of recommendations that may be useful for future cases where firearms may be involved and a GSR analysis is required from the forensic laboratories are proposed.

Keywords

Criminalistics, gunshot residue, inorganic GSR, suicide, analysis, variables, results

1. Introducción

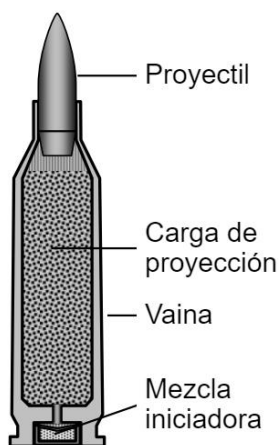
La determinación de la autoría de un disparo y/o la identificación de las personas que se pudieran encontrar en las proximidades del mismo son, sin duda, algunas de las piezas fundamentales de la investigación criminalística de los casos en los que interviene un arma de fuego. En estos casos, además, la reconstrucción de las variables que definieron el disparo –como distancia a la que se produjo o posición del tirador– es crucial para conseguir aportar información útil y relevante a la causa.

Las armas de fuego son aquellas que aprovechan la fuerza expansiva de los gases producidos por la combustión rápida de un compuesto químico para impulsar un proyectil [1]. Cuando un arma se descarga, una serie de complejos procesos tanto mecánicos como químicos tienen lugar en un intervalo de aproximadamente un milisegundo [2]. No es de extrañar, por tanto, que el examen forense de los casos en que se sospecha el uso de un arma involucre el estudio de aquellos elementos formados tras el momento en el que se aprieta el gatillo.

Para entender a qué elementos nos referimos, así como su procedencia y el porqué de su interés forense, es necesario empezar por explicar de manera somera las partes y materiales de los que se compone el cartucho, que es el cuerpo compacto y unitario con que se carga toda arma de fuego y reúne todo lo necesario para efectuar el disparo y que va a determinar, entre otros, los efectos sobre el blanco [1,3].

1.1. Composición de un cartucho

Los cartuchos están formados, generalmente, por cuatro partes (Fig. 1) [4]:



- Proyectil o bala
- Carga de proyección
- Vaina
- Mezcla iniciadora

Aunque el cometido de un cartucho siempre es alojar el iniciador y la carga de proyección y mantener fija la bala en el cuello o gollete de la vaina, su diseño está afectado por varios factores, tales como el propio diseño de la bala, el tipo de pistón o el tipo de arma que lo va a cargar [5].

Fig. 1. Partes de un cartucho.

Así pues, los cartuchos se dividen en dos grandes grupos: *metálicos* y *semimetálicos* [1]. De manera genérica, podemos decir que los cartuchos metálicos son aquellos cuya vaina está elaborada completamente de metal, y constan de los elementos señalados en la figura anterior. Su utilización es generalizada en las armas de ánima estriada. Por otro lado, los semimetálicos presentan en su composición materiales tanto metálicos como otros que no lo son. Tal es el caso de los cartuchos de escopeta –normalmente de ánima lisa–, en los que la vaina suele ser de plástico (polietileno) o cartón y el culote metálico, reforzándola y proporcionando el cierre. Además, presentan dos componentes adicionales: *taco* y *tapa* u opérculo de cierre (aunque, en la actualidad, se tiende a sustituir por un plegado en el extremo de la vaina).

1.1.1. Proyectoil

El proyectil es el elemento que constituye la parte activa más importante del cartucho, al servicio del cual están todas las demás partes del conjunto. El número de proyectiles existentes en la actualidad es inmenso, teniendo en cuenta que cada tipo se diseña para un propósito específico. Es necesario puntualizar que el uso del término «bala» como sinónimo de proyectil en las armas ligeras no es del todo correcto, pues no engloba de manera clara los cartuchos metálicos de proyectil múltiple (véanse los cartuchos de mostacilla). Los cartuchos semimetálicos se explicarán de manera individual más adelante.

En general, toda bala se compone de dos elementos principales: *envuelta* o *camisa* y *núcleo*. Según su naturaleza, pueden ser [1,3-7]:

- *Blindadas* o con envuelta completa: son aquellas que llevan una envuelta (salvo en la base) que puede ser de latón (aleación de cobre y zinc, y en proporciones en torno al 90-95 % de Cu y 5-10 % de Zn [se llama *Lubaloy* cuando incorpora un pequeño porcentaje de estaño, que presenta propiedades lubricantes]), de acero cobreado o de aleación de cobre y níquel (cuproníquel), aunque hay más composiciones disponibles. El núcleo de las balas ordinarias suele ser de plomo con un porcentaje variable de antimonio (siendo el más generalizado del 2 al 5 %), que le confiere dureza. Este tipo de balas tienen un gran poder de penetración.
- *Semiblandadas*: son aquellas en las que una parte de la punta no queda cubierta por la envuelta, facilitando la deformación controlada de la bala. Pueden tener o no la punta hueca. Presentan mayor poder de parada que las anteriores.
- *Sin envuelta* o desnudas: aunque pueden fabricarse de varios tipos de materiales, el más utilizado es el plomo, que suele ir en aleación con cantidades variables de antimonio, estaño

o los dos. Es necesario recubrir estas balas con una fina capa de cobre o latón, o aplicarles algún tipo de lubricante para reducir la fricción con el ánima y evitar el depósito de plomo en ella. Estos lubricantes suelen contener mezclas de vaselina, cera de abeja, grafito en polvo o cera de parafina, o ser ceras a base de silicona. Debido a las presiones y temperaturas que generan las pólvoras modernas, así como las altas velocidades iniciales que se obtienen, el uso de estas balas ha quedado limitado a la cartuchería de revólveres y pistolas y rifles de baja potencia.

Por su parte, los proyectiles que pueden disparar las armas con cañones de ánima lisa, particularmente las escopetas, son los denominados *slugs* (proyectiles únicos, por lo general de aleaciones de plomo o cobre), los *perdigones* y las *postas*, comúnmente de plomo (puro o aleado con antimonio, arsénico o estaño) o acero y, solo ocasionalmente, con algún recubrimiento (y siempre de tipo electrolítico, como cobreado) [8]. La diferencia entre perdigones yostas radica en el diámetro y el peso unitario, pasando a hablar (en España) deostas cuando estos son, respectivamente, de 5,25 mm o superior y de 0,810 g o superior [9].

Entre la carga de proyección y el proyectil –o proyectiles– se halla el taco, cuya misión principal es obturar los gases resultantes de la combustión de la carga de proyección y transmitir la energía originada de manera uniforme. Suele ser una pieza plástica que, normalmente, integra una parte elástica, que amortigua el impulso inicial, y un contenedor, que evita que el roce de los proyectiles contra el ánima los deforme.

1.1.2. Vaina

En los cartuchos metálicos actuales, la vaina es la que reúne a todos los demás elementos del conjunto, conteniendo en su interior la carga de proyección, alojando en su parte posterior el pistón y siendo engarzada la bala en la parte anterior. Consta de tres partes (cinco si es golleteada): *boca*, (*gollete*), (*gola*), *cuerpo* y *culote*. Su misión es dilatarse en el disparo elásticamente dentro de la recámara, adaptándose a ella y asegurando la perfecta obturación de los gases producidos, pero recobrando su forma original para poder ser extraída posteriormente.

Aunque existen vainas de aluminio, acero (común o latonado) e incluso plástico, el material más utilizado para su fabricación es el latón (de un 70 % de Cu y un 30 % de Zn, aproximadamente), a veces niquelado [7]. Debido a las condiciones extremas de presión y temperatura a las que se somete a la vaina durante el disparo, la ausencia de impurezas es crucial [1,3,5].

1.1.3. Carga de proyección

La carga de proyección, propelente o *propulsor* es la fuente de energía de un arma de fuego, cuya misión es la de acelerar el proyectil a una velocidad determinada. La fuerza necesaria la consigue aplicando a la base de la bala la elevada presión de los gases que se generan de su combustión en un espacio confinado y muy reducido en un intervalo de tiempo muy corto. Como en un espacio pequeño habrá poca cantidad de oxígeno para la combustión, el propulsor deberá incluir, al menos, un componente capaz de suministrar el oxígeno necesario.

El propulsor es la pólvora, un explosivo *deflagrante* que, iniciado por el fuego procedente del pistón, va a transformar su masa en energía. En la actualidad, para las armas de fuego se utilizan casi exclusivamente las pólvoras *sin humo* (también denominadas blancas o piroxiladas), ya que presentan numerosas ventajas respecto a la pólvora negra. Según su composición química, pueden ser de *base simple* (nitrocelulosa gelatinizada con un disolvente volátil, como éter-alcohol o acetona), de *doble base* (nitrocelulosa gelatinizada con nitroglicerina o dinitrato de etilenglicol) o de *triple base* (pólvoras de doble base con una tercera sustancia activa, la nitroguanidina), siendo estas últimas mucho menos convencionales en armas ligeras [10]. Todas ellas contienen *aditivos*, que son sustancias que desempeñan distintas funciones, como plastificantes (que pueden ser *semiactivos*, como el 2,4-dinitrotolueno, o *inactivos*, según aporten o no oxígeno en su combustión), estabilizantes (como la difenilamina o la 1,3-dietil-1,3-difenilurea [conocida como etil centralita o Centralita I]), supresores de llama (como las sales potásicas de ácidos como el oxálico, el nítrico o el clorhídrico), antiestáticos (el más utilizado es el grafito), moderadores de la combustión, agentes anticorrosivos, refrigerantes, etcétera.

Durante la combustión, las pólvoras sin humo se transforman casi por completo en gas: dióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO), hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2) y vapor de agua se forman en proporciones variables. Por ejemplo, una composición típica de gases originados por una pólvora de doble base contiene un 28 % de CO_2 , un 23 % de CO , un 8 % de H_2 , un 15 % de N_2 y un 26 % de H_2O [5].

El problema surge una vez que la bala empieza a desplazarse por el ánima, pues el espacio ocupado por los gases aumenta y la presión empieza a disminuir. En general, es deseable que la velocidad de salida del proyectil sea lo más alta posible. Por eso, es necesario regular la producción de los gases, distinguiéndose así las pólvoras *progresivas* (indicadas para balas pesadas y cañones largos), las *degresivas* (para balas ligeras y cañones cortos) y las de *emisión constante* [3,4].

1.1.4. Mezcla iniciadora

La importancia de este apartado es capital, pues, como veremos, serán los residuos producidos por la mezcla iniciadora o *fulminante* los que más interés tienen para el presente trabajo. Para abordar este punto, es necesario empezar por mencionar los sistemas de percusión modernos existentes, que son dos: *anular* y *central* (Fig. 2) [4]. Los primeros están en desuso (si acaso, se pueden encontrar en calibres pequeños, como el .22), y prácticamente toda la cartuchería moderna es del segundo tipo.

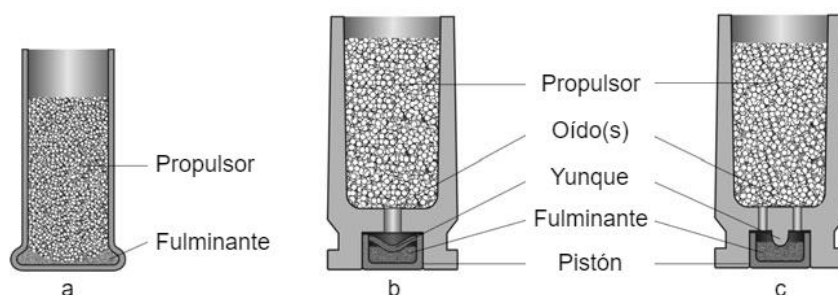


Fig. 2. Sistemas de percusión modernos: a) Anular; b y c) Central.

En los sistemas de percusión anular, el fulminante se encuentra en el anillo interior del culote, como se aprecia en la Fig. 2a, y es el propio plano del culote de la vaina el que actúa de *yunque*. En los de percusión central, en cambio, el fulminante se encuentra contenido en el *pistón* o cápsula, formando una parte independiente del cartucho que se aloja en el centro de la superficie del culote (Fig. 2b y 2c); es el que recibe el golpe de la aguja percutora. Este sistema puede subdividirse en dos grupos: *Boxer* (b) o *Berdan* (c), que, esencialmente, se distinguen en que el primero lleva incorporado el yunque y el segundo no, así como en los *oídos* que presentan.

Las cápsulas se suelen fabricar de latón 72/28 o cobre (niquelados o no), y su misión es comprimir el fulminante contra el yunque al ser percutidas, produciendo la explosión de la mezcla, cuyo fuego se comunicará al propulsor a través del (los) *oído(s)* causando su ignición.

Las mezclas iniciadoras están formadas, básicamente, por cuatro componentes químicos aglutinados, que son:

- *Explosivo iniciador*: es la sustancia que, capaz de detonar por fricción, percusión o llama, va a transmitir la explosión a la pólvora. Las primeras mezclas iniciadoras –prácticamente desaparecidas– se elaboraban con fulminato de mercurio, pero los residuos que producían eran muy corrosivos y oxidantes, además de higroscópicos cuando se mezclaban con clorato

potásico. El explosivo iniciador estándar actual es el 2,4,6-trinitroresorcinato de plomo (estifnato de plomo). Aun así, todavía se pueden seguir encontrando municiones con mercurio.

- *Sensibilizante*: aumenta la sensibilidad de la mezcla fulminante al choque o por efecto mecánico (fricción). Los más utilizados son el tetraceno (2,3-benzantraceno), el trinitrotolueno y el polvo de vidrio.
- *Oxidante*: aumenta la temperatura de ignición, facilitando el proceso. Los más comunes son el nitrato de bario, el nitrato de plomo, el clorato potásico y el dióxido de plomo.
- *Combustible*, tales como el sulfuro de antimonio y azufre (regula la longitud de la llama), el siliciuro de calcio o el tiocianato de plomo.

En la actualidad, la mezcla más utilizada es la *SINOXID* (en España recibe el nombre de TETRINOX), que contiene stifnato de plomo, nitrato de bario y sulfuro de antimonio. También pueden encontrarse con aluminio, zirconio y, ocasionalmente, magnesio, pero principalmente en municiones de alta potencia [5,6]. Sin embargo, el auge de los fulminantes sin plomo es una realidad a tener en cuenta [11], pues cada vez es más común encontrar municiones de las denominadas «no tóxicas» o *Sintox*. Su formulación típica –a base de tetraceno, diazodinitrofenol, peróxido de zinc y polvo de titanio– [12] es libre de metales pesados y evita los problemas de salud relacionados a su exposición [13,14].

Un ejemplo son los fulminantes SINTOX® de RUAG Ammotec AG para municiones de uso policial, a base de zinc y titanio, con gadolinio como marcador [10,15]; en las revisiones realizadas por Romolo y Margot [16] y Dalby *et al.* [14] hay varios ejemplos más.

1.2. Materiales de construcción de las armas

Dejando a un lado los materiales de las partes externas, para las que cada vez es más frecuente el uso de polímeros plásticos, las armas se suelen fabricar de acero (aleación de hierro y carbono) al cromo-molibdeno y acero inoxidable (con cromo en proporciones entre el 12 y 24 % y otros elementos, como molibdeno y níquel). El porcentaje de carbono que presentan las múltiples partes que componen un arma puede variar de un fabricante a otro, pero todas contienen alguno de los siguientes elementos para conseguir las propiedades metálicas deseadas: cromo, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, fósforo, silicio, wolframio y vanadio. También se utilizan aleaciones de aluminio, que pueden contener hierro, magnesio y zinc, además de alguno de los anteriores elementos [5].

Una vez explicadas las partes de las que se componen los cartuchos que pueden utilizarse en armas de fuego, así como los materiales de los que se fabrican ambos, es necesario entender qué es lo que pasa cuando un arma se descarga, describiendo los procesos que tienen lugar e introduciendo un nuevo concepto: los residuos de disparo.

1.3. Mecanismo del disparo

La descarga de un arma de fuego comienza apretando el gatillo o *disparador*. La presión ejercida hace que el *martillo* se mueva hacia delante bajo la tensión de un resorte, golpeando la *aguja percutora*. Es entonces cuando esta, al percutir el cartucho alojado en la recámara, va a desencadenar un proceso irreversible que, en cuestión de aproximadamente un milisegundo, hará que la bala salga propulsada por el cañón a gran velocidad.

El cartucho, como ya sabemos, es percutido por el pistón, que se deforma y comprime la mezcla iniciadora contra el yunque. El fulminante explota, y la temperatura y la presión suben desde valores ambientales a 1500-2000 °C y 10⁴ kPa en unos 0,2 milisegundos [17]. La llama generada inflama el propulsor aproximadamente 0,5 ms después del inicio del proceso y un segundo incremento de presión y temperatura –hasta unos 3600 °C y 3·10⁵ kPa– se produce, alcanzando su máximo entre 0,5 y 0,75 ms [2].

Cuando la bala sale por la boca del arma no lo hace sola, sino que irá acompañada de los gases producidos por la deflagración de la pólvora y partículas de la misma que no han tenido tiempo de consumirse o lo han hecho parcialmente (asociadas, más comúnmente, al uso de armas cortas), como se puede ver en la Ilustración 1. Además, otras partículas también se forman y expulsan durante el proceso, tanto por la boca del arma acompañando a la bala como por cualquier otra abertura que el arma pueda presentar, mostrando la evidencia de haber estado expuestas o formadas a esas temperaturas y presiones extremas [10].

Así pues, podemos definir ya los *residuos de disparo* como «aquellos materiales que, durante la descarga de un arma de fuego, salen por la boca del arma acompañando a la bala y por otras posibles aberturas del arma» [18]. Se les conoce por sus siglas en inglés como *GSR* (*Gun-shot Residue*), *FDR* (*Firearm Discharge Residue*) o *CDR* (*Cartridge Discharge Residue*). Aquí nos referiremos a ellos como GSR, pues el término FDR se utiliza menos y la denominación CDR quizá sea algo confusa, pues parece que solo engloba los residuos producidos por el cartucho. El término GSR es el recomendado por la mayoría de expertos en la materia [19].



Ilustración 1. Residuos de disparo producidos durante la descarga de un revólver.

1.4. Residuos de disparo

Los GSR se dividen, según su naturaleza, en dos grupos: *orgánicos* e *inorgánicos*. Los primeros se originan mayoritariamente a partir del propulsor y de los lubricantes del arma, y están constituidos por partículas de pólvora no quemadas o parcialmente quemadas, así como productos de su transformación e hidrocarburos. Por su parte, los residuos inorgánicos están formados por nitratos, nitritos y partículas metálicas, provenientes fundamentalmente de los distintos componentes del cartucho (fulminante, pólvora, proyectil y vaina), aunque también pueden proceder del cañón del arma [20]. Vemos, por tanto, como resulta crucial conocer qué compuestos químicos constituyen la base del propulsor y la mezcla iniciadora para entender qué elementos nos podemos encontrar. Además, es necesario tener presente que los residuos generados por munición previamente utilizada y que hayan podido quedar retenidos en el ánima del arma también van a contribuir en los GSR de posteriores descargas [10].

Dentro de los residuos inorgánicos que se generan, predominan los que proceden del proyectil y del fulminante. Estos materiales de combustión vaporizados se expulsan y, posteriormente, solidifican en partículas de tamaño variable (entre 0,5 y 10 μm de diámetro, aunque hay excepciones) [14]. Es a estas partículas metálicas concretamente a las que se refieren los expertos forenses como *partículas de GSR*.

Cuando se produce el primer aumento de temperatura y presión por la explosión del fulminante, la temperatura generada vaporiza los elementos de la mezcla que lo compone. Los efectos de la sobresaturación hacen que las partículas vaporizadas se condensen en forma de gotitas en equilibrio (la mayoría de partículas menores de 10 μm). Cuando se inflama el propulsor, las partículas involucradas se someten a un nuevo aumento de temperatura y presión. Con la expansión y el enfriamiento que se produce cuando los gases del disparo salen por el cañón, las partículas generadas se solidifican en forma generalmente esférica, pudiéndose también encontrar partículas más grandes que crecen por coalescencia de aquellas [17].

Aunque la mayor parte de los residuos producidos durante la descarga de un arma acompañan a la bala en su trayectoria [21], una pequeña parte de aquellos se depositan sobre las manos del tirador, el arma y las superficies próximas a la misma (otras partes del tirador, ropa...) [2,7]. Estos residuos, adecuadamente identificados, aportan una información enormemente valiosa para la reconstrucción del momento en que se produjo el disparo. En un supuesto suicidio, por ejemplo, encontrar GSR en las manos de la víctima puede significar que sostenía el arma en el momento que fue descargada, ayudando a confirmar la hipótesis e identificando a la víctima como el autor del disparo.

Los GSR no solo tienen una función «identificativa», sino que también aportan información útil en cuanto a qué distancia se produjo el disparo con respecto a la víctima y cómo se situaba esta con respecto al arma (ayudando al diagnóstico diferencial entre orificios de entrada y salida) [7,16]. Sin embargo, estos dos últimos aspectos no están dentro del alcance del presente trabajo.

1.4.1. Valor probatorio de los residuos de disparo y desarrollo de las técnicas analíticas a lo largo de la historia

Llegados a este punto, una pregunta surge: *¿son válidos todos los residuos de disparo como prueba de que una persona ha disparado un arma?*

La respuesta, obviamente, es *no*. El requisito fundamental que deben cumplir los GSR con este fin es que puedan relacionarse de manera única y exclusiva con la descarga de un arma, por lo que, lógicamente, todos aquellos residuos que puedan provenir de diversas fuentes (además de un arma de fuego) están descartados.

Los primeros métodos de detección de GSR con fines identificativos estaban basados en el análisis químico de los nitratos y nitritos de los productos de combustión de la pólvora [7]. En 1933 se introdujo la denominada *prueba de la parafina*, un test colorimétrico que consistía en verter parafina líquida sobre las manos de una persona sospechosa de haber descargado un arma de fuego para, posteriormente, ser rociada con una disolución al 0,2 % de difenilamina en ácido sulfúrico concentrado (reactivo de Guttman) [2,22]. Si había nitratos, la parafina se volvía ostensiblemente azul. Sin embargo, la prueba distaba mucho de ser aclaratoria, pues no solo la ubicuidad de los nitratos es un problema [23], sino que, además, el test era positivo para sustancias que, sin ser nitradas, son oxidantes. La prueba fue rápidamente criticada y su uso se fue abandonando. Aunque no es válida como prueba de cargo, sí puede ser útil como un indicio más solo en los casos en que un sospechoso es arrestado instantes después de haber realizado un supuesto disparo [24].

Por su parte, el análisis de los nitritos (para la determinación de la distancia de disparo) se llevó a cabo por primera vez en 1937 por J.T. Walker [2,22]. La *prueba de Walker* es otra prueba colorimétrica, y consiste en una modificación de la reacción de Griess (publicada en 1879, se basa en la diazotación de una amina aromática adecuada mediante nitrito en medio ácido para proporcionar un compuesto azoico muy coloreado), necesaria para evitar el uso de compuestos carcinógenos.

En la revisión realizada por Meng y Caddy [7] se recogen varios trabajos relacionados con la identificación y caracterización mediante diversas técnicas analíticas de GSR orgánicos, especialmente los relacionados con los componentes principales de la pólvora y los resultantes de sus transformaciones. Sin embargo, una de sus mayores limitaciones tiene que ver con la falta de especificidad [25] (no de las técnicas, sino de los residuos orgánicos como elementos que sugieran la descarga de un arma de fuego).

Un avance significativo en el análisis de GSR ocurrió cuando, en 1959, Harrison y Gilroy sugirieron por primera vez que los residuos procedentes del fulminante eran, posiblemente, los componentes más característicos de los GSR [7]. La mayoría de las mezclas iniciadoras producen residuos que contienen plomo, bario y antimonio, de manera que su prueba se basaba en la detección química colorimétrica de los dos primeros mediante rodizonato de sodio y del segundo mediante yoduro de metil(trifenil)arsonio [22]. Sin embargo, la prueba carecía de sensibilidad y no era específica, pues la existencia de estos tres metales en las manos de una persona que no ha tenido relación con un arma de fuego está demostrada, e incluso existen fuentes

convencionales que pueden incrementar su cantidad [2,16,26]. El valor probatorio de los GSR radica en que se ha demostrado que no se encuentran entre la población «común» [19].

Es en este punto cuando la comunidad científica forense se dio cuenta de que lo que se necesitaban no eran pruebas cualitativas, sino técnicas que presentasen una elevada sensibilidad que permitiera distinguir los niveles normales de estos elementos de los asociados a la descarga de un arma. Es entonces cuando, en 1962, Ruch *et al.* presentaron el uso del *análisis por activación de neutrones* (NAA) para la identificación de antimonio y bario en GSR (estudio que se publicó dos años después) [16], técnica que sí aportaba la sensibilidad requerida, pero que presentaba grandes inconvenientes: no permitía la detección del plomo, se requería personal especializado para llevar a cabo los análisis, distaba mucho de ser rápida y era muy costosa (se requería un reactor nuclear como fuente de neutrones para irradiar la muestra) [14].

En 1971 aparece un nuevo método para el análisis de GSR utilizando la *espectroscopia de absorción atómica* (AAS) [16], haciendo particularmente atractiva la técnica cuando se utilizaba con horno de grafito para atomizar la muestra, ya que permitía el análisis de plomo, antimonio y bario. La disponibilidad de esta técnica era mucho mayor que la de la anterior, y la sensibilidad que presentaba era suficiente. La recogida de muestra se podía hacer mediante tres métodos: con torundas de algodón humedecidas en ácido diluido (normalmente nítrico al 5 %) [14,26], lavando las manos del supuesto tirador con ácido diluido y recogiendo el líquido de lavado o con una superficie adhesiva.

Otras técnicas también se han investigado para el análisis total de plomo, antimonio y bario [14,16], llegando algunas incluso a implementarse, como es el caso de la *espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo* (ICP-AES) y la *espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo* (ICP-MS) [27].

Ahora bien, lejos de haberse encontrado la técnica ideal, un problema capital seguía estando presente: tanto el NAA como la AAS –y las dos técnicas con ICP– no presentaban la especificidad que se requería, pues medían el contenido total de antimonio y bario, o plomo, antimonio y bario que había sido recogido de las manos, de manera que la cuantificación incluía los residuos ambientales y ocupacionales que pudieran estar presentes. Era necesaria, por tanto, la búsqueda de una nueva técnica que aunara una sensibilidad y especificidad máximas. De esta necesidad surgió, a mediados de los años 70, el desarrollo de la *microscopía electrónica de barrido acoplada a microanálisis de energía dispersiva de rayos X* (SEM-EDX) como técnica para la búsqueda e identificación de partículas de GSR [16,28].

1.5. Partículas de GSR

En contraste con las técnicas analíticas «en masa», el análisis de las partículas de GSR mediante SEM-EDX ofrece, actualmente, un método no destructivo definitivo para su identificación, pues permite asignar un perfil elemental de manera individual para cada partícula [10,29,30]. Con el uso de las primeras técnicas es necesario disolver o extraer la muestra como paso previo al análisis, sacrificando la información que aporta la *morfología* de las partículas de GSR.

1.5.1. Morfología y tamaño

Entender el origen y la formación de las partículas de GSR es esencial para poder distinguirlas de las partículas ambientales. Basu [17] estableció que, debido a que se forman en un enfriamiento rápido tras estar sometidas a unas condiciones de temperatura y presión extremas, las partículas condensadas debían estar formadas por plomo (Pb), antimonio (Sb) y bario (Ba) tanto superficial como internamente. Los vapores de estos tres elementos pueden condensar de manera uniforme y simultánea, de manera irregular y discontinua o como una capa de plomo envolviendo un núcleo de bario y antimonio. Puesto que es la forma más estable, la mayoría presentan morfología *esferoidal*. Además, clasificó los GSR procedentes del fulminante (también hay aportación del proyectil) en tres categorías, dependiendo de su interacción durante la descarga del arma:

- I. Las más comunes son pequeñas partículas esferoidales que pueden presentar pequeños nódulos o protuberancias superficiales de composición elemental que podrá tener su origen en el fulminante o la bala, o ser inespecífica (no Pb, Sb o Ba). El cuerpo de estas partículas contiene una mezcla uniforme de los tres elementos, son sólidas (por lo general) y su tamaño suele oscilar entre 0,5 y 5-10 μm [17,29]. Se forman incluso antes de la ignición del propulsor, de manera que no sufren ninguna modificación.
- II. Algunas partículas no son homogéneas y tienen una distribución discontinua de Pb, Sb y Ba. Esta heterogeneidad puede reflejar la manera en la que crece la partícula, presentando, normalmente, cavidades centrales que sugieren que se ha sometido a algún tipo de perturbación durante su formación. Burnett [31] apuntó que encontrar partículas de estas formas podía deberse a impactos producidos contra el objetivo estando aún las partículas fundidas, dando lugar a modificaciones en su morfología.

III. Las partículas menos comunes presentan una cubierta de Pb que rodea a un núcleo homogéneo de Sb y Ba. Durante su solidificación, el núcleo captura vapores de Pb procedentes de residuos del fulminante y de la bala.

Las categorías II y III presentan mayores tamaños (se han llegado a encontrar partículas de más de 100 μm de diámetro) [26,29] y son susceptibles de someterse al segundo aumento de temperatura y presión, por lo que pasarán por varios estados metaestables hasta alcanzar de nuevo su forma.

Puesto que la morfología es dependiente de las condiciones en el momento del impacto o de la distancia desde el punto de producción al punto de impacto, puede variar muy notablemente, de manera que debe ser considerada como un criterio secundario de identificación [29,30]. Por tanto, tiene que haber un criterio principal que permita atribuir un GSR de manera inequívoca a la descarga de un arma; hablamos de la *composición elemental*.

1.5.2. Composición y exclusividad

Como ya se ha descrito, diversas fuentes pueden contribuir a la composición elemental de las partículas de GSR. Debido al rapidísimo proceso que da lugar a su formación, las proporciones de los elementos que estas partículas pueden presentar son muy variables.

Los criterios actuales de clasificación están bien definidos por las guías elaboradas por ASTM (Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales) [30] y los grupos de expertos forenses en esta área: *ENFSI EWG Firearms/GSR*, perteneciente a la Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses (ENFSI) [29] y *SWGSR (Scientific Working Group for Gunshot Residue)* [10]; serán los que se detallarán en las sucesivas líneas.

Sin embargo, es necesario puntualizar que la comunidad forense, consciente del reto que supone el hallazgo de partículas menos convencionales, es partidaria, en la actualidad, de seguir el enfoque «*case-by-case*» [19], esto es, cotejar las partículas encontradas con las de la munición utilizada [29] (teniendo en cuenta que las partículas que se encuentren en el interior de las vainas serán diferentes de aquellas expulsadas del arma de fuego) [20]. Este enfoque, concluyen Romolo y Margot [16], es el que debería seguirse siempre que sea posible, pues es el que más puede ayudar a los tribunales. La comparación de muestras obtenidas de la víctima, sospechoso(s) o escena del crimen con las de las armas, proyectiles o vainas, señalan Dalby *et al.* [14], es un método eficaz dentro del marco que proporciona este enfoque, con el que están

totalmente de acuerdo. Además, el análisis de tanto los residuos inorgánicos como los orgánicos es una práctica prometedora para la interpretación de los resultados, pues permite obtener la mayor cantidad de información posible de una muestra dada, aumentando la probabilidad de que una interpretación sea precisa e incrementando el valor probatorio de la evidencia [7,14]. Esto hace que varias técnicas se hayan estudiado para complementar el análisis de los GSR por SEM-EDX, dificultado por el uso de municiones libres de metales pesados [32].

Según su composición elemental, las partículas de GSR se pueden dividir en dos categorías:

- *Específicas (characteristic of GSR)*. Deben tener uno de los siguientes perfiles elementales:
 1. Pb–Sb–Ba. Pueden contener uno o varios de los siguientes elementos:
 - i. Si, Ca, Al, Cu o Sn (como componentes mayoritarios, minoritarios o trazas)
 - ii. Fe, S, Zn, K, Cl, P o Ni –en conjunción con Cu y Zn– (como componentes minoritarios o trazas)
 - iii. Co o Zr (muy poco habituales)
 2. Gd–Ti–Zn (pueden contener trazas de Ca y S)
 3. Ga–Cu–Sn (pueden contener trazas de K y S)

El perfil 1 corresponde a municiones tipo SINOXID, mientras que los números 2 y 3 se han observado provenientes de fulminantes de tipo «no tóxico» de municiones marcadas.

- *Compatibles (consistent with GSR)*. Pueden asociarse a la descarga de un arma, pero también originarse a partir de otras fuentes no relacionadas. Deben tener uno de los siguientes perfiles elementales:
 4. Ba–Ca–Si (con o sin trazas de S) o Pb–Ba–Ca–Si
 5. Sb–Ba (con no más que trazas de Fe y/o S)
 6. Pb–Sb
 7. Ba–Al (con o sin trazas de S)
 8. Pb–Ba
 9. Pb (solo en presencia de partículas con perfil 1 y partículas compatibles)
 10. Sb (solo en presencia de partículas con perfil 1 y partículas compatibles)
 11. Ba (sin S)
 12. Ti–Zn (pueden contener Cu o Sn y/o Si, Ca y Al)
 13. Sr (pueden contener Cu, Al, K, Ca y/o Ba)

Los perfiles 4 al 11 corresponden a municiones tipo SINOXID, y pueden contener uno o varios de los elementos listados en el 1; los números 12 y 13 a tipo «no tóxico».

Otros elementos inusuales pueden encontrarse, como Bi o Cr, o Mn, Na o Mg a nivel de traza [5,33]. Sin embargo, el hallazgo de este último elemento debería considerarse cuestionable, y las partículas que lo presentaran deberían clasificarse como incompatibles con la descarga de un arma, a no ser que esté presente en el arma o la munición empleadas [33]. En la Ilustración 2 se puede ver una partícula de GSR típica.

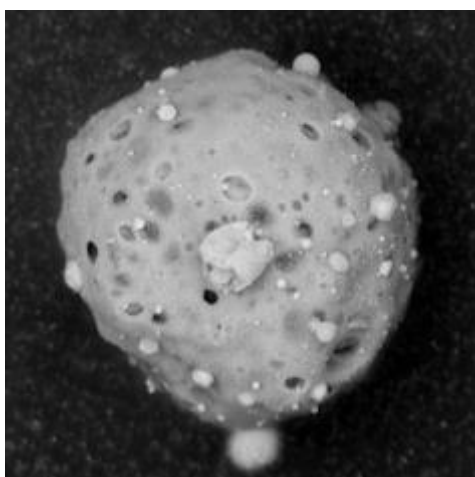


Ilustración 2. Partícula de GSR.

Los cartuchos con proyectil de plomo desnudo (sin envuelta) dan lugar a una gran cantidad de partículas de Pb y Pb-Sb (y Pb-Cu si está recubierto); el número se reduce enormemente con el uso de proyectiles blindados y semiblandos. Por eso, se considera que la mayor parte del plomo que contienen las partículas de GSR proviene del proyectil más que del fulminante [28]. Además, la composición química de las partículas de GSR procedentes del fulminante puede estar influenciada por los materiales de construcción del arma y otras partes de la vaina y del cartucho, especialmente del núcleo y la envuelta del proyectil [20].

Tampoco se puede dejar de lado el *efecto memoria* (partículas de anteriores disparos), que puede influir en la composición de las partículas encontradas y se ve fuertemente afectado por el tipo de calibre y de arma, como describen Charles *et al.* [34] en su trabajo.

A raíz de un estudio publicado en 1997 por Zeichner y Levin [35], se agregaron como específicas las características partículas de Pb-Ba-Ca-Si-Sn producidas por munición SBP (Sellier & Bellot, Praga) [10]. Las guías son muy claras respecto al enfoque *case-by-case*: «Los analistas podrán desarrollar perfiles elementales adicionales para otros tipos de composiciones de fulminantes, ayudando en la clasificación de partículas de origen ambiental u ocupacional que pueden ser encontradas en las muestras», de manera que, cuando se encuentren partículas no convencionales que incluyan la presencia de elementos adicionales, «su cantidad relativa y su distribución [...] deberá ser consistente con las fuentes cuestionadas y conocidas de las que proceden las muestras» [29].

La *exclusividad* de las partículas de GSR es otro aspecto a tener muy en consideración. Si se descubriera otro proceso o actividad distinta a la descarga de un arma de fuego que puede producir partículas con morfología y/o composición elemental indistinguibles a las partículas de GSR, el peso de estas partículas como evidencia forense quedaría en entredicho [14,21].

Hay un pequeño número de fuentes de partículas que presentan composiciones similares a los GSR derivados de municiones tipo SINOXID. Casi la totalidad de estas partículas puede distinguirse claramente de los residuos procedentes de la descarga de un arma de fuego por su morfología y/o composición. Sin embargo, un número extremadamente pequeño de las partículas procedentes de estas fuentes puede ser muy similar o incluso indistinguible de una partícula de GSR. Las partículas individuales deben considerarse en el contexto de todas las demás partículas dentro de la muestra en la que se encuentran para minimizar el número de falsos positivos. Es muy poco probable que, de entre todas las partículas generadas por cualquiera de estos dispositivos, solamente se detecten partículas que tengan una composición similar a un GSR [10].

Se han realizado diversos estudios experimentales con el fin de buscar estas posibles fuentes. Garofano *et al.* [36] investigaron varias actividades y ocupaciones potencialmente relevantes a la hora de interpretar un resultado, demostrando que personas con trabajos relacionados con la reparación y mantenimiento de automóviles pueden estar expuestas a partículas de Ba y Sb, a veces difíciles de distinguir de una partícula de GSR irregular, y concluyendo que el análisis de tanto la composición como la morfología son importantes si se quiere conseguir una correcta interpretación de la fuente que produjo una partícula determinada.

Otras fuentes potenciales también se han estudiado:

- Fuegos artificiales y artefactos pirotécnicos: aunque la mayoría de las partículas generadas a partir de su ignición contienen elementos que no se hallan típicamente en las partículas de GSR [10], se ha encontrado que algunos dan partículas similares a los GSR producidos por ciertos fulminantes sin Sb de cartuchos de percusión anular del calibre .22 [7,14].
- Pastillas de freno de automóviles: en algunas se encontraron partículas de Pb, Sb y Ba sin elementos que no fueran compatibles con un GSR, de manera que un resultado, señalan Torre *et al.* [33], se ha de dar con extrema precaución si no se cuenta con la munición empleada para el cotejo químico. Coinciden con Garofano *et al.* [36] en la importancia de la morfología, y añaden que, para propósitos de clasificación, el término GSR debería desecharse en favor de uno más específico, como «residuos de descarga del fulminante». Hay incluso constancia de un caso controvertido respecto a la interpretación de los resultados obtenidos en el contexto de un supuesto homicidio [37].
- Airbags: aunque se hallaron algunas partículas sospechosas de ser de GSR, las partículas que Berk [38] encontró tenían Cu y Co y estaban acompañadas de partículas de Zr y/o

Cu–Co, o bien se encontraban junto a partículas con alto contenido en Al y presentaban altos niveles de este elemento.

Ahora que ya sabemos de dónde proceden las partículas de GSR y qué morfologías y composiciones pueden presentar, falta un último aspecto para entender su valor forense, y no es otro que saber cómo se depositan en una superficie y cuánto tiempo pueden permanecer ahí.

1.5.3. Depósito y persistencia

Las partículas de GSR no son más que micropartículas metálicas que, al ser expulsadas por el arma, se van a depositar en aquellas superficies que estén en las proximidades del disparo. Este depósito es superficial e independiente de la composición elemental que pudieran tener [39]. Si hay algo que favorece su retención es su tamaño, que las hace susceptibles de quedarse atrapadas, por ejemplo, en los pliegues microscópicos de la piel [6].

Puesto que cualquier actividad cotidiana hace que las partículas se desprendan de la superficie sobre la que están depositadas, transfiriéndose a otras (especialmente las de mayor tamaño) [40,41], o perdiéndose en caso de lavado, es difícil generalizar sobre el tiempo que pueden permanecer en las manos o en la ropa de un tirador [7]. Estudios al respecto han demostrado que la probabilidad de encontrar GSR en las manos de sospechosos vivos después de 3 h de haber disparado es muy baja [5], y que la mayoría de los GSR se pierden entre las 2-4 h [39,41], aunque este tiempo aumenta considerablemente cuando se trata de un suicidio (48 h y potencialmente muchas más) [26,28]. Esto corrobora que la actividad física es la principal causa de pérdida de GSR [14]. También se ha comprobado que la persistencia en el pelo y en la ropa es, por lo general, bastante mayor [7,10,14].

Llegados a este punto, es necesario saber cuáles son los parámetros y criterios que los laboratorios forenses utilizan en la actualidad para llevar a cabo el análisis de partículas de GSR (en adelante análisis de GSR) y la posterior interpretación de los hallazgos obtenidos.

1.6. Criterios para el análisis de GSR en los laboratorios forenses de referencia

La técnica de elección para el análisis de GSR en los laboratorios forenses es la SEM-EDX, siguiendo las normas de ASTM [30] y ENFSI [29]. La estrategia analítica consiste en analizar los residuos presentes en la vaina percutida del cartucho utilizado (cuando es posible) con el

objetivo de cotejar los GSR encontrados, teniendo presente, como ya se ha mencionado, que las partículas pueden variar considerablemente de una zona de muestreo a otra. Un interesante estudio al respecto fue llevado a cabo por Rijnders *et al.* [42], evidenciando la necesidad de actuar con precaución cuando se cotejan residuos tomados de diferentes zonas (por ejemplo, las manos y la vaina).

1.6.1. Toma de muestra y tratamiento

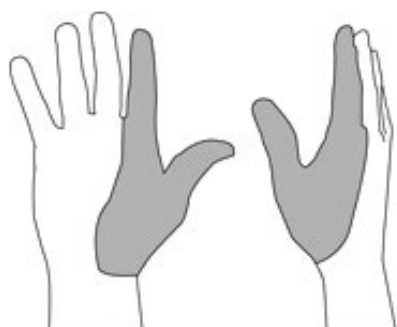


Fig. 3. Superficies de la mano a muestrear para la toma de GSR.

En los suicidios, la toma de muestra se suele hacer en las manos: una toma por mano, centrándose en la zona interdigital de los dedos 1 y 2, tanto de la cara palmar como de la dorsal (Fig. 3). Es recomendable no hacer una toma por separado, pues puede dar lugar a confusión [19]. El problema que plantea la actividad posterior al disparo de los sujetos vivos se ha eliminado, por lo que no se consideran otras zonas que sí podrían tener interés en estos casos (como los bolsillos, por ejemplo).

Sin embargo, esto no es óbice para que se puedan muestrear otras, como las heridas, la ropa u otras partes del cuerpo —si se sospecha que pudieron intervenir en el accionamiento del arma—, con el fin de obtener más residuos que poder comparar.



Ilustración 3. Portamuestras para SEM.

El método elegido se conoce como *tape lift*, pues ha resultado ser el más eficiente [43]. El dispositivo que se utiliza son los portamuestras para microscopía electrónica de barrido (SEM) (Ilustración 3), a los que se les ha colocado un adhesivo. Su tamaño estándar es de 12,7 mm de diámetro.

El número de aplicaciones ideal está sin definir; se recomienda presionar moderadamente el portamuestras repetidas veces, tantas como permita la zona a muestrear sin que se pierda la adhesividad del disco (lo que suele ocurrir a partir de las 20-30 aplicaciones en las manos) [18]. Para el pelo se necesitan entre 200-300 aplicaciones [14]. El método presenta un inconveniente: no se puede evitar recoger suciedad inherente a la zona muestreada, que podría enmascarar las partículas de interés en el análisis.

El Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (INTCF) distribuye un kit («kit de disparo») a Institutos de Medicina Legal (IML) y Juzgados con todo lo necesario para la realización de la toma de muestras por parte de los médicos forenses [44].

Para que la muestra pueda analizarse cuando el adhesivo que se usa en los portamuestras no es conductor, es necesario recubrir su superficie para aumentar su conductividad eléctrica (a no ser que se utilice un microscopio electrónico de barrido ambiental o de presión variable/bajo vacío). El material elegido es el carbono, puesto que no interfiere con las líneas de rayos X de los elementos de interés. Esta operación se denomina *grafitar*. El recubrimiento debe ser uniforme y de espesor adecuado para eliminar la carga de la muestra durante el análisis.

1.6.2. Fundamento del análisis de GSR por SEM-EDX

Las partículas de GSR contienen metales pesados –elementos de elevado número atómico–. En el SEM¹, un haz de electrones se acelera y enfoca en la superficie de la muestra (la *bombardea*). Cuando este haz de *electrones primarios* interactúa con ella, se generan *electrones secundarios* (SE), *electrones retrodispersados* (BSE), *rayos X característicos* y otros fotones de energía variable [45] que se emiten desde la superficie de la muestra. Los SE se utilizan para ver la muestra (el número de SE detectados depende de la naturaleza elemental de la superficie de la muestra y, sobre todo, de su topografía) [5], los BSE para identificar posibles GSR y los rayos X proporcionan detalles de la composición química de las partículas.

Los BSE son aquellos electrones del haz que han sido objeto de una o varias dispersiones, y abandonan la superficie de la muestra con energías comprendidas entre 50 eV y la energía del haz incidente [46]. Puesto que la retrodispersión aumenta conforme lo hace el número atómico de la muestra [45], todas las partículas que contienen metales pesados exhiben una fuerte emisión, y aparecen como zonas brillantes en la imagen; solo las partículas brillantes son potenciales GSR y son las que hay que analizar [29]. En esto se basa el modo de contraste en el SEM.

La emisión característica de rayos X es el proceso mediante el cual un átomo se estabiliza tras haberse ionizado por un haz de electrones: cuando se desaloja un electrón de una capa atómica interna (un SE), un electrón de otra capa de orden superior «salta» y lo reemplaza. La diferencia de energía entre los estados inicial y final se emite como rayos X de energía y longitud de onda características. Puesto que la estructura interna de los átomos de un elemento es

¹ Aquí SEM se refiere a «microscopio electrónico de barrido» (*Scanning Electron Microscope*).

única (con niveles de energía definidos), la radiación emitida es de una cantidad discreta y característica del átomo —y por tanto del elemento— que la emite, lo que permite identificarlo. Los espectrómetros de energía dispersada modernos son capaces de detectar elementos de número atómico superior a 4 a las corrientes de haz típicas usadas para el mapeo de electrones secundarios en el SEM [45], pero el uso de detectores con ventana de berilio limita la detección a elementos por encima del sodio (número atómico 11) [29]. A modo de ejemplo, en el *Anexo 1* se recoge un espectro EDX típico de una partícula de GSR.

El equipo debe calibrarse para poder detectar potenciales partículas de GSR menores de 0,5 μm de diámetro y excluir aquellas que, por su número atómico, no presenten el brillo y contraste adecuados. Operando en modo automático, el equipo busca mediante el SEM estas partículas de brillo característico por prácticamente toda la superficie de los portamuestras y, una vez localizadas, las analiza con el microanalizador para comprobar si su composición pudiera corresponder a la de un GSR. Terminado el análisis automático por el equipo, se procede a la comprobación manual de las partículas que, por su composición, puedan corresponder a un GSR, viéndose si su morfología también es compatible con la de estas.

1.6.3. Criterios de interpretación

La probabilidad de que un análisis de una muestra sea positivo para GSR aumenta, considerablemente, con el número de partículas que puedan clasificarse como específicas y compatibles, la presencia y el número de partículas comúnmente asociadas a GSR, la ausencia de algunos elementos o sus proporciones que normalmente no se encuentran en un GSR, la ausencia de partículas características de fuentes distintas a un disparo que se puedan confundir con un GSR y la presencia de partículas con morfologías compatibles con la formación a elevadas temperaturas [10].

Hasta ahora no hay un consenso en cuanto al número de partículas que se necesita para dar un resultado que confirme encontrarse ante un GSR. Incluso es discutible que esto deba considerarse como un criterio básico a tener en cuenta [19]. Eso sí: el hallazgo de múltiples partículas con composiciones de las consideradas específicas y compatibles suele ser suficiente para identificarlas como GSR [10]. No es habitual no encontrar partículas compatibles en alguien que ha disparado un arma. Sin embargo, en caso de solo encontrar una partícula de las consideradas específicas, cualquier interpretación que no incluya una discusión puede ser engañosa [47].

Un resultado *positivo* en una víctima puede significar que disparó el arma o que se encontraba en las proximidades del disparo y se contaminó con la nube de residuos producida. Por sí sola, esta prueba no es concluyente [11,19,48]. Por ello, es necesario tener en cuenta más aspectos, como la distancia y trayectoria del disparo, el número y localización de las heridas y los hallazgos obtenidos del lugar de los hechos [49].

Por otro lado, un resultado *negativo* en un caso de supuesto suicidio puede ser debido a diversas causas: los residuos se perdieron antes de hacer la toma o esta no fue adecuada; los residuos no se detectan por haber interferentes; el tipo de arma utilizado no dio lugar a depósito, o bien hubo una barrera física (por ejemplo, unos guantes) que lo impidió; el equipo con el que se llevó a cabo el análisis estaba mal calibrado; la víctima, realmente, no disparó el arma.

Ahora que ya sabemos cómo los GSR pueden ayudar a la investigación criminalística de los casos que involucren armas de fuego, es necesario dar contestación a una última pregunta, y es *por qué es necesario investigar los suicidios*. Vamos a ver, a continuación, como se enmarca este tipo de actos en el ámbito jurídico.

1.7. El suicidio: definición y marco legal

La Real Academia Española define el suicidio como la «acción y efecto de quitarse voluntariamente la vida». De una manera más amplia, se puede decir que engloba *cualquier acción u omisión* que se efectúa con el deseo y la finalidad de quitarse voluntariamente la vida.

En el artículo 15 de la Constitución Española (CE), perteneciente al capítulo segundo, sobre derechos y libertades, se dice que «Todos tienen derecho a la vida y a la integridad física y moral, sin que, en ningún caso, puedan ser sometidos a tortura ni a penas o tratos inhumanos o degradantes. [...]» [50]. Se indica, por tanto, que la vida es un derecho, no un deber.

En efecto, la legislación penal española no castiga el suicidio, pero sí su facilitación por terceros, ya sea de manera activa, contemplada en el artículo 143 del Código Penal (CP), o pasiva, recogida en el artículo 195 [51] (véase el *Anexo 2* para una lectura de los mismos). Es pertinente preguntarse entonces el porqué del interés de la investigación de los suicidios. Aquí caben, desde los puntos de vista jurídico-penal y médico-legal, dos razones principales:

- La primera, descartar la comisión de un hecho delictivo, como son el homicidio o el asesinato (contemplados en los artículos 138 al 142 del CP) [51], corroborando la hipótesis de suicidio.

- En segundo lugar, en los casos de muerte violenta –como lo es un suicidio–, el cadáver es clasificado como judicial antes de la emisión del certificado médico de defunción, y es obligatoria la práctica de la autopsia como confirmación de la causa o causas de la muerte (artículos 340 y 343 de la Ley de Enjuiciamiento Criminal) [52-54]. Referente a este certificado, en el artículo 66 de la Ley del Registro Civil se dice que «en ningún caso podrá efectuarse la inscripción de defunción sin que se haya presentado ante el Registro Civil el certificado médico de defunción», en el que deberá recogerse «la existencia o no de indicios de muerte violenta y, en su caso, la incoación o no de diligencias judiciales por el fallecimiento si le fueran conocidas o cualquier motivo por el que, a juicio del facultativo, no deba expedirse la licencia de enterramiento». En el segundo apartado del artículo 67 se señala, además, que «si hubiera indicios de muerte violenta o en cualquier caso en que deban incoarse diligencias judiciales, la inscripción de la defunción no supondrá por sí misma la concesión de licencia de enterramiento o incineración. Dicha licencia se expedirá cuando se autorice por el órgano judicial competente» [55].

2. Objetivo

Dada la importancia de conocer qué variables afectan al resultado de un análisis de GSR, así como en qué medida lo hacen, el objetivo general de este trabajo es analizar e interpretar la información relacionada con los casos de suicidio por arma de fuego estudiados en el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses durante el periodo de siete años comprendido entre los años 2009 y 2015. Para alcanzarlo, se proponen los siguientes objetivos particulares:

- Revisar y tabular la información, relevante desde un punto de vista forense, de los formularios de remisión de muestras, autopsias e informes periciales (en adelante dictámenes) donde se analizan GSR en casos de suicidio estudiados en el INTCF desde 2009 a 2015.
- Analizar la información recogida visualmente y empleando herramientas estadísticas.
- Interpretar el efecto de los distintos parámetros analizados sobre la presencia/ausencia de GSR en la casuística de suicidios estudiada.

La consecución de estos hitos individuales dará lugar a una relación de variables, cuya influencia en el resultado de los análisis se verá cuantificada y permitirá obtener unas conclusiones, sobre las cuales se basarán las recomendaciones que se pretenden aportar al estudio y análisis de los residuos de disparo.

3. Metodología

3.1. Casos de suicidio por arma de fuego estudiados

El estudio se realizó a partir de los casos de suicidio remitidos al INTCF desde 2009 a 2015 en los que intervino un arma de fuego y se solicitó un análisis de GSR, revisando toda la información relacionada con estos casos contenida en la plataforma LIMS (*Laboratory Information Management System*).

Se obtuvieron 289 casos ($n = 289$) y se clasificaron según su etiología a partir de la información preliminar aportada en los formularios de remisión y las autopsias. Esta clasificación divide la muestra en 3 grandes grupos: *suicidios* ($n = 243$), confirmados, por ejemplo, por los datos obtenidos de la escena de los hechos, el resultado de la autopsia, los antecedentes personales de la víctima o la existencia de notas manuscritas, llamadas y/o mensajes anunciando sus intenciones; *posibles suicidios* ($n = 22$), compatibles con esta etiología por la localización del orificio de entrada, la distancia de disparo (a contacto o casi contacto), etcétera, y *casos muy dudosos* ($n = 24$), cuya falta de información no permite excluirlos del estudio, aunque no es posible asegurar que se traten de suicidios.

Una vez seleccionada la muestra de estudio ($n = 289$) se procedió a tabular toda la información de interés para cada caso, considerando los campos que se muestran a continuación:

1. INFORMACIÓN PREVIA

- a. Año
- b. Etiología
- c. Análisis
 - i. Manos
 - ii. Pies
 - iii. Ropa
 - iv. Objetos
 - v. Heridas
- d. Instituciones remitentes

2. SUCESO

- a. Fecha (dd/mm/aaaa) y hora (00:00)
 - i. Suceso/Fallecimiento (día y hora)
 - ii. Toma de muestra (día y hora)
 - iii. Autopsia (día y hora)

- iv. Recepción de la muestra
 - 1. INTCF (día)
 - 2. Servicio de Criminalística del INTCF (día)
- v. Finalización del análisis (día)
- vi. Dictamen
 - 1. Firmas (día)
 - 2. Salida (día)
- b. Casuística
 - i. Arma (Corta/Larga)
 - 1. Tipo
 - 2. Familia/Características
 - 3. Marca/Modelo
 - ii. Munición
 - 1. Proyectoil
 - 2. Calibre
 - 3. Tipo
 - iii. Lugar de los hechos/Hallazgo del cuerpo
 - iv. Fallecimiento tras asistencia médica (S/N)
 - 1. Tiempo de ingreso
 - v. Análisis químico-toxicológico
 - 1. Consumo previo de sustancias (S/N/Quizás)
 - 2. Sustancias
 - a. Alcohol etílico
 - b. Drogas de abuso
 - c. Fármacos
 - vi. Datos relacionados con el fallecido
 - 1. Sexo
 - 2. Edad
 - 3. Grupo poblacional
 - 4. Talla
 - 5. Peso
 - 6. Antecedentes médicos
 - 7. Profesión
 - 8. Estado psicológico

- 9. Problemas
 - 10. Ideas/Intentos autolíticos previos
 - 3. ESTUDIO
 - a. Causa de la muerte
 - b. Tiempo entre fallecimiento y autopsia
 - c. Muestra
 - i. Tiempo entre fallecimiento y toma
 - ii. Remisión
 - iii. Recogida de GSR
 - 1. Lugar
 - 2. Condiciones de las manos
 - a. Lavado (S/N/Quizás)
 - b. Protección (S/N)
 - i. Material utilizado
 - 3. Toma previa (S/Quizás)
 - 4. Vaina (S/N)
4. ANÁLISIS
 - a. Resultado (Positivo/Inconcluso/Negativo)
 - b. Consideraciones (Interferentes/Mala toma de muestra)
 - c. Composición química del fulminante
 - d. GSR
 - i. Cantidad
 - ii. Distribución en las manos
5. ANEXO/OBSERVACIONES
 - a. Mano dominante del fallecido
 - b. Localización del arma
 - c. Realización del disparo
 - d. Objetos auxiliares
 - e. Evidencias adicionales

Las variables se seleccionaron atendiendo a parámetros fundamentalmente objetivos y fácilmente reproducibles por el observador. No obstante, algunas variables fueron arbitrarias, por ejemplo, circunstancias personales tales como problemas sentimentales o económicos, siendo conscientes de la relatividad de estos términos.

3.2. Análisis de la información

El tratamiento de la información se realizó haciendo uso de varias herramientas informáticas, teniendo en cuenta para su elección la gran cantidad de datos que se iba obteniendo, así como qué se quería estudiar. Así pues, la información se fue tabulando en una hoja de cálculo de Excel, siguiendo el esquema mostrado en el apartado anterior 3.1. *Casos de suicidio por arma de fuego estudiados*.

Esta información, una vez recopilada, se organizó de tal manera que fuera posible tratarla haciendo uso de tres programas de análisis multivariante y minería de datos (*data mining*): Orange (software de código abierto desarrollado por la Universidad de Liubliana), SIMCA (de MKS Data Analytics Solutions) y Microsoft SQL Server. En la Fig. 4 se muestra cómo se fue organizando la información (nótese que solo se han recogido algunos casos y campos aleatorios a modo de ejemplo).

ID	instituciones remitentes	suceso (día)	arma	arma (tipo)	munición (proyectil)	munición (calibre)	lugar de los hechos/hallazgo del cuerpo	muestra 1 (remisión)
1	Instituto de Medicina Legal de Cádiz	28/11/2015	larga	escopeta	múltiple		domicilio/residencia	kit de disparo
2	Instituto de Medicina Legal de Palma de Mallorca	23/11/2015	larga	escopeta	múltiple	12	domicilio/residencia	kit de disparo
3	Instituto de Medicina Legal de Málaga	18/11/2015	corta	pistola	único	9 mm	domicilio/residencia	kit de disparo
4	Instituto de Medicina Legal de Toledo	17/11/2015	larga	escopeta		12	domicilio/residencia	kit de disparo
5	Instituto Vasco de Medicina Legal (Guipúzcoa)	06/11/2015	larga	escopeta	múltiple		garaje	kit de disparo
6	Instituto Vasco de Medicina Legal (Guipúzcoa)	29/10/2015	larga	escopeta	múltiple	cal. 12/70	domicilio/residencia	kit de disparo
7	Instituto de Medicina Legal de Málaga	22/10/2015	corta	pistola	único	9 mm	domicilio/residencia	kit de disparo
8	Instituto de Medicina Legal de Málaga	24/09/2015	larga	escopeta			campo/monte	colgajos cutáneos manos
9	Instituto Vasco de Medicina Legal (Vizcaya)	22/09/2015	larga	escopeta	múltiple		domicilio/residencia	kit de disparo
10	Instituto de Medicina Legal de Málaga	21/09/2015	larga	escopeta	múltiple	cal. 12/70		kit de disparo
11	Instituto de Medicina Legal de Huelva	01/09/2015	larga	escopeta			domicilio/residencia	2 calcetines
12	Instituto de Medicina Legal de Burgos	11/09/2015	larga	escopeta				kit de disparo
13	Instituto Vasco de Medicina Legal (Vizcaya)	08/09/2015	larga	escopeta	único	7.65 mm	domicilio/residencia	kit de disparo
14	Instituto de Medicina Legal de Málaga		corta	pistola	único	7.65 mm	domicilio/residencia	kit de disparo
15	Instituto Vasco de Medicina Legal (Guipúzcoa)	14/08/2015	larga	escopeta		cal. 12/70	domicilio/residencia	kit de disparo
16	Instituto de Medicina Legal de Huelva	09/08/2015	larga	escopeta	múltiple	12	domicilio/residencia	kit de disparo
17	Instituto Vasco de Medicina Legal (Guipúzcoa)	05/08/2015	larga	escopeta	único	.22	domicilio/residencia	kit de disparo
18	Instituto de Medicina Legal de Cádiz	08/08/2015	larga	rifle	único	.27	campo/monte	kit de disparo
19	Instituto de Medicina Legal de Galicia (Pontevedra)	13/03/2015					domicilio/residencia	colgajos cutáneos manos
20	Instituto de Medicina Legal de Toledo	28/06/2015					domicilio/residencia	kit de disparo
21	Instituto de Medicina Legal de Pamplona							kit de disparo
22	Instituto Anatómico Forense (Madrid)	13/06/2015	larga	escopeta			domicilio/residencia	kit de disparo
23	Instituto de Medicina Legal de Cádiz	16/06/2015	corta	reglamentaria			domicilio/residencia	kit de disparo
24	Instituto Vasco de Medicina Legal (Álava)	15/06/2015	larga	escopeta	múltiple		domicilio/residencia	kit de disparo
25	Instituto de Medicina Legal de Cáceres	14/06/2015	larga	escopeta			domicilio/residencia	kit de disparo

Fig. 4. Presentación de la información para su tratamiento estadístico multivariante.

Cada variable, adicionalmente, se clasificó según fuera numérica o cuantitativa (por ejemplo, edad del fallecido o tiempo entre fallecimiento y toma de muestra) y nominal o cualitativa (etiología o lugar de los hechos) para poder ser correctamente interpretada por los programas. SIMCA da la opción de escoger determinadas variables numéricas como variables de fecha o tiempo, de manera que algunas, tales como día u hora del suceso, se clasificaron así. A cada caso se le asignó un ID primario único (en Orange se denomina *atributo meta*).

Toda la información obtenida se analizó con el fin de llevar a cabo un estudio estadístico general y de encontrar todas las dependencias y variables que influyen, en mayor o menor medida, en el resultado de un análisis de GSR.

4. Resultados y discusión

4.1. Estudio estadístico general

En la Fig. 5 se muestra como el volumen de casos se mantiene más o menos constante a lo largo de los años (a excepción de 2011, que registró 32 casos), siendo el promedio de 41. Cabe mencionar que, para un mismo caso, pueden realizarse varios análisis de GSR, pues no es infrecuente que se solicite, además de la prueba de los residuos recogidos de las manos del fallecido, el análisis de ropa, heridas o incluso objetos. También pueden existir réplicas, cuando los residuos se tomaron en el levantamiento del cadáver y en la autopsia, o se envía tanto la muestra de residuos recogida como los colgajos cutáneos de las manos para su análisis en el INTCF. Sin embargo, por comodidad y una mayor claridad de las explicaciones, se utilizarán los términos «caso» y «petición» de manera análoga.

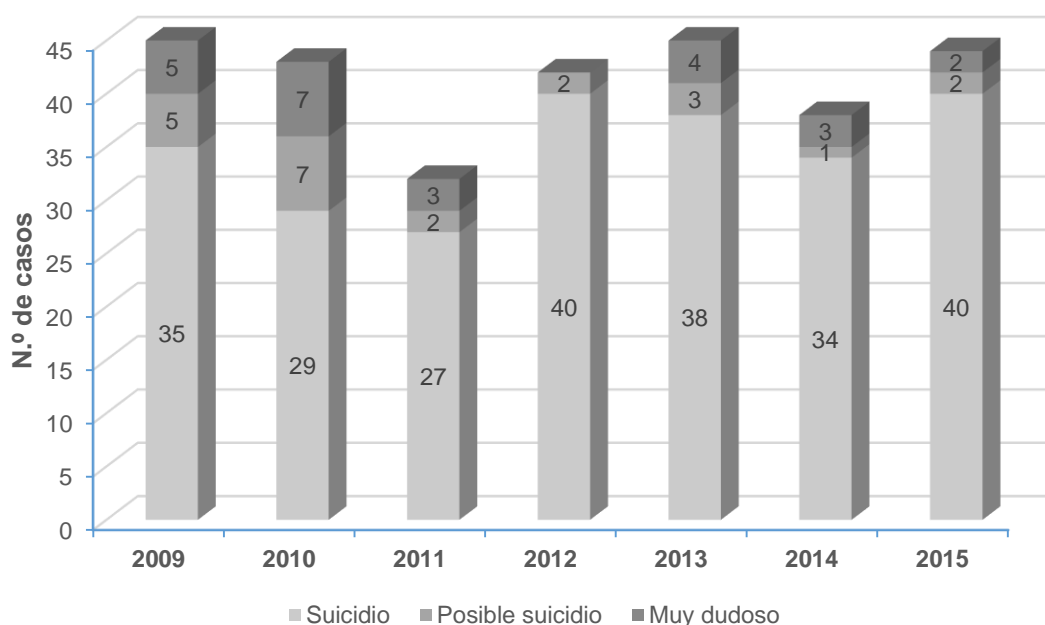


Fig. 5. Volumen de casos registrados durante el periodo de estudio considerando su etiología.

Las peticiones de análisis llegaron desde 4 instituciones diferentes: Instituto Anatómico Forense de Madrid ($n = 5$), Institutos de Medicina Legal ($n = 272$), otros departamentos del INTCF ($n = 8$) y Juzgados ($n = 4$). Es muy frecuente que las peticiones de análisis de GSR lleguen a departamentos del INTCF distintos al de Madrid (Barcelona, Sevilla o delegación de La Laguna), de tal manera que estos derivan el caso a Madrid por ser este departamento el único de toda España que cuenta con un Servicio de Criminalística. En esos casos no se ha tenido en

cuenta esa derivación, sino solo la institución remitente de origen. Es, por tanto, que los 8 casos que se indican remitidos desde otros departamentos del INTCF se han clasificado así por no poseer más información.

Dentro de los IML, el servicio encargado de llevar a cabo la investigación sobre las causas y circunstancias de la muerte en los casos de muertes violentas o en los que existan dudas sobre su etiología y, por tanto, sean sospechosas de tener un origen criminal es el Servicio de Patología Forense.

En la Tabla 1 (continúa en la siguiente página) se muestra un desglose de las instituciones de origen según su demarcación y el número de casos tramitados. El mayor número de peticiones (el 94,1 %) corresponde a los *Institutos de Medicina Legal*, siendo el País Vasco y Andalucía las Comunidades Autónomas que mayor volumen de trabajo remitieron al INTCF (83 peticiones respectivamente), seguidas, ya de lejos, por la Comunidad Valenciana (30).

Tabla 1. Instituciones de origen según su demarcación y el número de casos tramitados.

Código CC. AA.²	Institución remitente	n	%
MD	Instituto Anatómico Forense	5	1,7
	<u>Instituto de Medicina Legal</u>	<u>272</u>	<u>94,1</u>
CM	Albacete	4	1,5
VC	Alicante	30	11,0
AS	Asturias	3	1,1
CL	Ávila	1	0,4
EX	Badajoz	2	0,7
CL	Burgos	4	1,5
EX	Cáceres	11	4,0
AN	Cádiz	20	7,4
CT	Cataluña	2	0,7
CM	Ciudad Real	4	1,5
GA	Galicia	14	5,1
AN	Granada	3	1,1
AN	Huelva	9	3,3
IB	Ibiza	1	0,4

² CC. AA. – Comunidades Autónomas; AN – Andalucía; AS – Principado de Asturias; CB – Cantabria; CL – Castilla y León; CM – Castilla-La Mancha; CN – Canarias; CT – Cataluña; EX – Extremadura; GA – Galicia; IB – Islas Baleares; MC – Región de Murcia; MD – Comunidad de Madrid; NC – Comunidad Foral de Navarra; PV – País Vasco; VC – Comunidad Valenciana.

Tabla 1. Instituciones de origen según su demarcación y el número de casos tramitados. (*Continuación*)

Código CC. AA.	Institución remitente	n	%
AN	Jaén	7	2,6
CN	Las Palmas de Gran Canaria	1	0,4
AN	Málaga	44	16,2
MC	Murcia	9	3,3
IB	Palma de Mallorca	2	0,7
NC	Pamplona	2	0,7
CL	Ponferrada (León)	1	0,4
CB	Santander	3	1,1
CM	Toledo	7	2,6
CL	Valladolid	5	1,8
PV	País Vasco	83	30,5
	INTCF	8	2,8
	<u>Juzgado</u>	<u>4</u>	<u>1,4</u>
MD	Alcalá de Henares (Madrid)	2	50,0
AN	Arcos de la Frontera (Cádiz)	1	25,0
CM	Valdepeñas (Ciudad Real)	1	25,0

Es interesante conocer cuál es el promedio de días que tarda una petición en convertirse en un dictamen emitido por el INTCF. Así pues, en la Tabla 2 se muestran los días promedio que definen la duración de un análisis de GSR, desde que la muestra se recibe en el departamento de Madrid del INTCF hasta que se emite el dictamen correspondiente. La etapa 1 corresponde a la recepción de la muestra en el departamento de Madrid y su posterior envío al Servicio de Criminalística para ser analizada; la etapa 2 corresponde al tiempo que se tarda en iniciar y realizar un estudio de un asunto; la etapa 3 describe la redacción del dictamen y su firma por los funcionarios pertinentes; por último, la etapa 4 se refiere al tiempo que tarda un dictamen ya firmado en salir del INTCF al organismo requirente.

Tabla 2. Días promedio de las etapas de un análisis de residuos de disparo.

Etapa	N.º de días promedio
1 INTCF → Servicio de Criminalística	3
2 Análisis	37
3 Análisis → Dictamen	8
4 Dictamen (salida)	4

Se han omitido los días promedio que tarda una petición en derivarse desde un departamento del INTCF distinto al de Madrid a este (3 días).

Las etapas más rápidas corresponden al envío de la muestra al Servicio de Criminalística para su análisis y la emisión del dictamen, lo que es lógico debido a que solo abarcan el traslado de la muestra al Servicio, manteniendo en todo momento la cadena de custodia, y los trámites administrativos necesarios para que el dictamen sea emitido. Las etapas más lentas corresponden al estudio de un asunto, que engloba el tratamiento de la muestra, su análisis y la interpretación de los resultados, así como a la elaboración del dictamen, en el que se exponen todos los hallazgos obtenidos.

Relativo a los datos relacionados con el fallecido, en la Tabla 3 se muestra la edad menor, mayor y el valor de la mediana encontrados para cada sexo, así como la distribución por grupos de edades.

Tabla 3. Edades observadas según el sexo y distribución por grupos de edades.

Sexo	n	%	Dato	Edad (años)	Grupo de edad	n	%
Varón	273	94,5	Edad menor	16	≤ 20	5	1,8
			Edad mayor	91	21-54	121	44,3
			<i>Mediana</i>	52	≥ 55	94	34,4
Mujer	12	4,2	Edad menor	28	≤ 20	0	–
			Edad mayor	58	21-54	6	50,0
			<i>Mediana</i>	39	≥ 55	2	16,7

Resulta curioso observar como el 94,5 % de los casos estudiados corresponde a varones, mientras que solo el 4,2 % son mujeres (el porcentaje restante corresponde a 4 casos en los que no constaba este dato). Sin embargo, esto se puede entender revisando la Estadística de Defunciones por Causa de Muerte del año 2013 que el Instituto Nacional de Estadística (INE) hizo pública el 27 de febrero de 2015 [56], en la que puede comprobarse como el 75,2 % de los 3870 suicidios que se produjeron ese año en nuestro país correspondía a hombres, mientras que el 24,8 % restante fueron mujeres. Además, la Fundación Salud Mental España para la prevención de los trastornos mentales y el suicidio, a través de su Observatorio del Suicidio, recoge, a partir de los datos del INE para el año 2013, los métodos de suicidio empleados por sexos ese año en España [57]. El ahorcamiento es el medio utilizado en casi la mitad de los suicidios, mientras que el uso de armas de fuego no representa ni un 10 % del total. En cuanto a los métodos

empleados por sexo, las mayores diferencias se encuentran en las precipitaciones al vacío y los envenenamientos por ingesta de fármacos y otras sustancias, mucho más usados por mujeres, y las armas de fuego, mayoritariamente elegidas por hombres.

Otros datos adicionales de interés son:

- De los 289 casos, solo en 49 (17,0 %) constan los antecedentes médicos. De estos, en 31 casos (63,3 %) se informa de que el fallecido presentaba antecedentes o padecía problemas psicológicos y/o estaba bajo (posible) tratamiento psicofarmacológico.
- En 27 casos (9,3 %) consta que el fallecido tenía problemas, ya sean económicos, laborales, escolares, de salud, de pareja, adicciones o delitos imputados.
- En 14 casos (4,8 %) consta que el fallecido tuvo ideas suicidas con anterioridad o llevó a cabo intentos autolíticos previos.
- En 8 casos (2,8 %) consta el estado psicológico del fallecido, sabiéndose en 6 ocasiones que este era *depresivo*, en 1 que era aparentemente *normal* y en 1 que pudo ser víctima de un *episodio psicótico*.
- En 3 casos (1,0 %) el sujeto se suicidó tras acabar con la vida de uno o varios familiares.
- Por último, en apoyo a la investigación y esclarecimiento de los hechos, en 22 casos (7,6 %) se informa de la existencia de evidencias adicionales (pueden existir varias en un caso), a saber:

▪ Carta(s)/nota(s) de despedida/suicidio	17
▪ Llamada/mensaje telefónico	5
▪ Manifestación de la intención	3

Es bastante común la petición de análisis químico-toxicológicos complementarios al análisis de GSR para buscar en la víctima la presencia de posibles tóxicos, tales como alcohol etílico o drogas de abuso, y fármacos. Este análisis se realizó en 85 de los 289 casos (29,4 %), arrojando los resultados que se recogen a continuación. En el subgrupo *Benzodiacepinas/Fármacos* se muestran solo los fármacos psicotrópicos. Solo en 1 caso se observó un resultado compatible con una dosis tóxica, en concreto de un ansiolítico. Nótese, además, que en ocasiones se encuentra más de una sustancia por haber existido un consumo conjunto de varias:

- 55 positivos (64,7 %):

▪ Alcohol etílico	21
- <i>Consumo positivo</i>	<i>20</i>
- <i>Consumo dudoso</i>	<i>1</i>

- | | |
|-----------------------------------|-----------|
| ▪ Drogas de abuso | 11 |
| - Anfetaminas | 2 |
| - Cannabis | 5 |
| - Cocaína | 8 |
| - Morfina | 1 |
| ▪ Benzodiacepinas/Fármacos | 34 |
| - Antipsicóticos | 2 |
| - Ansiolíticos | 15 |
| - Antidepresivos | 12 |
| - Hipnóticos/Sedantes | 8 |
| - Nootrópicos | 1 |
- 29 negativos (34,1 %).
 - 1 dudoso (1,2 %) a alcohol, en el que no hubo consumo de otras sustancias y la concentración detectada podría ser de procedencia endógena, habiéndose formado por los procesos naturales de degradación del cadáver.

En 2 casos se presupuso el consumo de alcohol etílico, pero no se solicitó análisis confirmatorio.

4.2. Dependencias y variables de interés e interpretación de los resultados más relevantes obtenidos

El objetivo de este punto es arrojar un conjunto de variables que van a influir en el resultado final de un análisis de GSR, que, como sabemos, puede ser positivo, inconcluso (se encuentran partículas compatibles que podrían asociarse a la descarga de un arma, pero no específicas de ser un GSR) o negativo. Puesto que esta incidencia no es igual para todas las variables estudiadas, se han recogido de mayores a menores influencias relativas. A su vez, se han ido encontrando distintas dependencias y relaciones interesantes, que también se explicarán en este punto. Es preciso hacer notar que el resultado de un caso no es fruto de un solo parámetro, sino que lo que lo determina es la combinación de muchas variables. Se ha intentado separar cada variable en la medida de lo posible con el fin de facilitar el estudio, aunque la interdependencia de todas es lo que realmente tiene la mayor incidencia en el resultado.

Es necesario indicar que en 3 casos no se cuenta con el resultado: en uno, pese a que se tomó la muestra, no se llegó a solicitar el análisis; en otro no se pudo realizar el análisis porque

la muestra se tomó con hisopos de algodón, inadecuados para este tipo de estudio; en el tercero, la muestra se tomó a la persona equivocada. Estos casos no se han considerado para realizar los cálculos pertinentes. Además, se tienen en cuenta los resultados particulares para cada muestra, no el resultado «global» del caso, que puede diferir por la existencia de varios análisis. Cabe señalar, como punto de partida, los resultados obtenidos de manera general en los 286 casos estudiados: 213 positivos (74,5 %), 44 inconclusos (15,4 %) y 29 negativos (10,1 %).

4.2.1. Lugar de recogida de los GSR

La toma de muestra es, sin duda, el punto más importante de cualquier análisis. El lugar donde se tome la muestra tiene una enorme influencia en el resultado final. Como ya sabemos, las partículas de GSR son partículas microscópicas que no quedan incrustadas, sino depositadas sobre las superficies que estén en proximidad con el arma en el momento del disparo. Debido a que su persistencia es limitada, es crucial manipular lo menos posible la zona objeto de estudio para minimizar la pérdida de residuos. Así pues, todas las maniobras a las que se someta el cadáver, como su traslado a la sala de autopsias, o la asistencia médica que pudiera recibir la víctima, pueden conducir a la pérdida, en mayor o menor medida, de los residuos objeto de análisis. Ni que decir tiene que la remisión de los colgajos cutáneos de las manos no es adecuada, ya que su obtención supone una considerable manipulación del cadáver.

En la Fig. 6 se recogen los resultados para las tomas hechas de las manos en tres lugares distintos: levantamiento, autopsia e INTCF (cuando se remiten los colgajos cutáneos). En un caso, en el que la muestra se recibió en una tira adhesiva, se tuvo que hacer una segunda toma en el INTCF, posterior a la realizada en la autopsia; el resultado fue inconcluso. En otro caso la toma de muestra se realizó en el hospital, obteniéndose un resultado negativo.

Se observa como el porcentaje de positivos decrece considerablemente en función de dónde se recojan los residuos, siendo muy alto (95,7 %) cuando la toma se realiza en el *levantamiento*, así como aumentan los resultados inconclusos y negativos si esta no tiene lugar durante dicha diligencia, sobre todo cuando la toma se tiene que llevar a cabo en el INTCF. Esto pone de manifiesto la importancia de manipular lo menos posible la zona a muestrear (cabe señalar que solo en el 22,6 % de las veces consta que se hiciera alguna toma de muestra en el *levantamiento*). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por DeGaetano y Harrison [58] en su estudio: 92 % de positivos en el *levantamiento*, frente a 76 % en la autopsia.

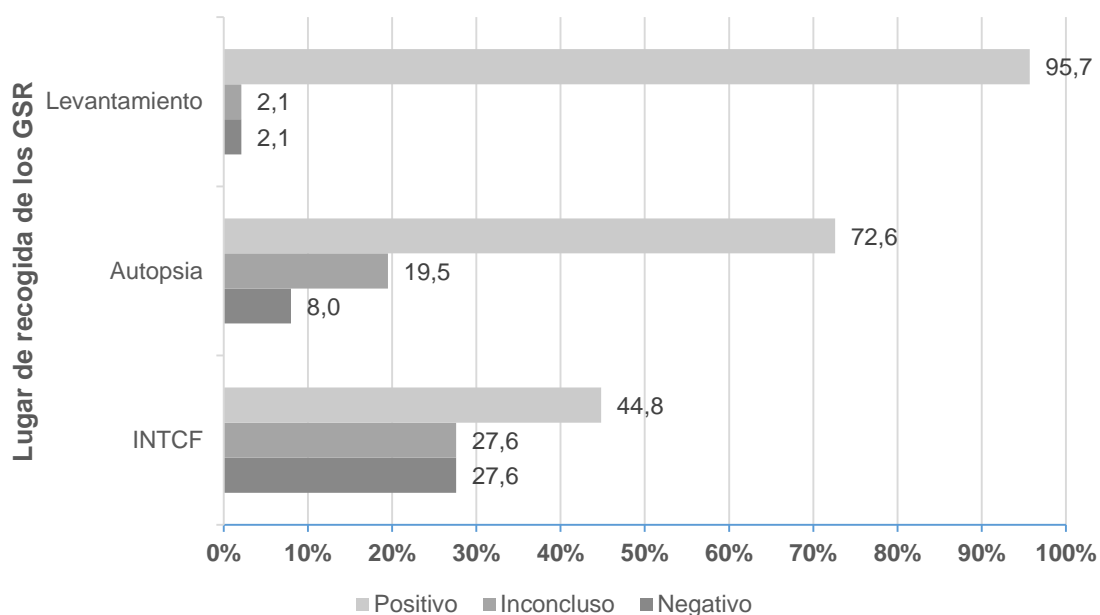


Fig. 6. Influencia del lugar de recogida de los GSR en el resultado.

4.2.2. Interferentes/Mala toma de muestra

Al igual que el lugar donde se haga la toma de muestra, una recogida ineficiente y/o defectuosa y la existencia de interferentes son dos aspectos a tener muy en cuenta a la hora de interpretar un posible resultado no positivo.

Se entiende por recogida ineficiente/defectuosa la constatación de la existencia de alguna deficiencia en la toma de muestra, ya sea porque la superficie del disco adhesivo de los portamuestras aparece sorprendentemente limpia bajo el microscopio, porque la toma se hizo con la superficie a muestrear húmeda (la adhesividad del disco pierde eficacia, al igual que cuando se frota la superficie a muestrear en vez de presionarla repetidas veces) o porque haya habido que hacer una segunda toma de muestra, ya sea por el uso de un dispositivo artesanal como una tira adhesiva o porque la toma se hizo sin haber retirado los protectores plásticos de los portamuestras. No es de extrañar, por tanto, que una mala toma de muestra vaya asociada generalmente a una toma hecha en la autopsia (pérdida de residuos, cadáver húmedo al estar en la cámara frigorífica...) y no en el levantamiento. De hecho, en el 81,0 % de las veces en que se constató esto, la toma se había hecho en la autopsia, mientras que solo en el 19,0 % restante había sido realizada en el levantamiento del cadáver.

Por su parte, los interferentes son aquellos elementos que acompañan a los residuos en la muestra a analizar e impiden, en mayor o menor medida, su detección. Entre los interferentes

más comunes se encuentran las células epiteliales (muy habituales cuando el cadáver se encuentra en estado de putrefacción, ya que se desprenden con facilidad), la sangre (embebe las partículas, pudiendo hacerlas indetectables, y afecta a la adhesividad de los portamuestras), las fibras textiles o la tierra. Es por ello que, pese a que *a priori* la aplicación de los portamuestras sobre los orificios en piel podría ser de utilidad para detectar GSR, en la práctica no lo es tanto, ya que la sangre que inevitablemente se recoge al aplicar el portamuestras sobre la herida recubre toda la superficie del mismo y hace que, si hay residuos, estos posiblemente no se recojan. Aun así, puede ser interesante como prueba auxiliar.

En la Fig. 7 se muestra la influencia de la mala toma de muestra y la existencia de interferentes en el resultado.

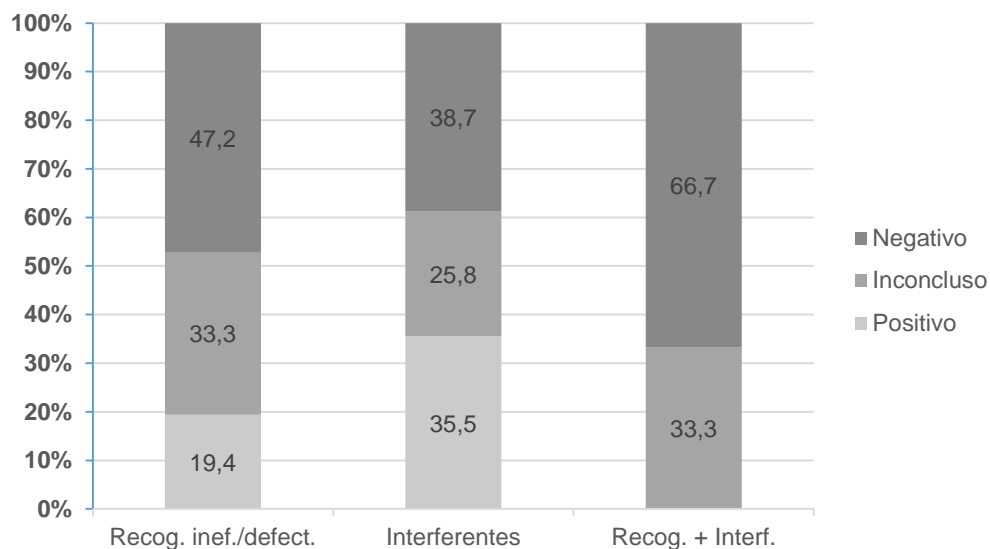


Fig. 7. Influencia de la mala toma de muestra y los interferentes en el resultado.

Se observa como ambas variables tienen mucha influencia, siendo mayor la que produce una *mala toma de muestra* (columna de la izquierda). En 3 ocasiones se observó la confluencia de las mismas (columna de la derecha), no pudiendo dar en ninguna un resultado positivo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Reed *et al.* [48], cuyo estudio reveló como variable prioritaria que las manos estuvieran limpias y secas antes de hacer la toma de muestra.

4.2.3. Fallecimiento tras asistencia médica

Entendemos por asistencia médica tanto el ingreso hospitalario, con todo lo que eso conlleva (traslado de la víctima al centro sanitario, cuidados y operaciones a las que pudiera ser sometida,

etc.), como las maniobras de reanimación que pudieran ser llevadas a cabo por los servicios de urgencia *in situ*.

La incidencia de este supuesto en el resultado es de notoria importancia, pues, de nuevo, todas las maniobras sufridas por la víctima pueden conllevar a la pérdida de residuos. Esta pérdida se maximiza conforme el tiempo de asistencia aumenta, y va relacionada directamente con los tratamientos a los que la víctima sea sometida, que normalmente incluyen un lavado externo de las heridas y una gran manipulación general del cuerpo.

En la Fig. 8 se puede comprobar como la existencia de asistencia médica (columna de la derecha) disminuye el porcentaje de positivos de 77,1 a 38,9 %, aumentando el porcentaje de negativos al 50,0 %.

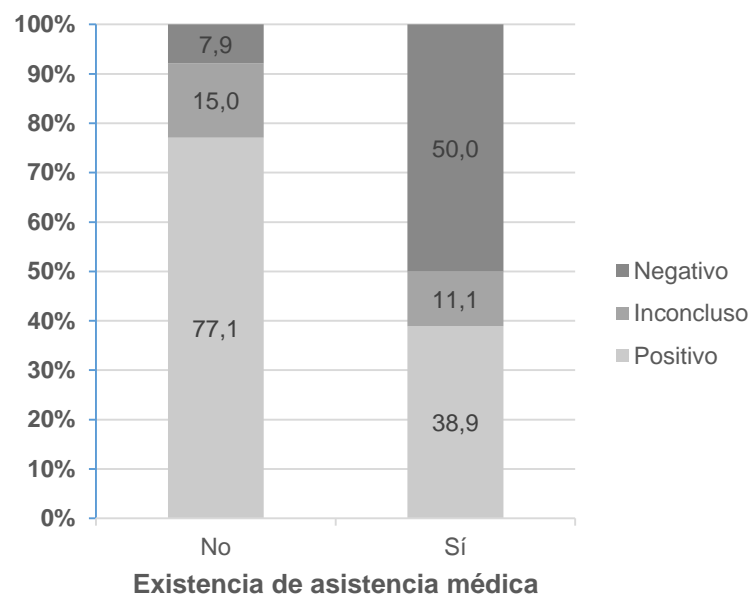


Fig. 8. Influencia de la existencia de asistencia médica en el resultado.

El tiempo de ingreso, en caso de haber existido asistencia médica, también influye en el resultado. Así pues, se ha observado que el porcentaje de negativos aumenta de manera directamente proporcional al tiempo de asistencia, pasando de un 0,0 % en 1 caso en el que solo existieron maniobras de reanimación cardiopulmonar (RCP), cuyo resultado fue positivo, hasta un 100 % en los 3 casos en los que la asistencia médica duró 4 días o más. En 4 casos la asistencia duró menos de 1 día; 2 casos fueron positivos (50,0 %), 1 caso inconcluso (25,0 %) y 1 caso negativo (25,0 %). Por último, en 2 casos el tiempo de ingreso fue de 1 día; 1 caso fue positivo (50,0 %) y otro negativo (50,0 %).

4.2.4. Arma y Munición (calibre)

El arma y el calibre y potencia de la munición empleadas influyen en el resultado de los análisis en relación a la cantidad de residuos que son expulsados (la energía proporcionada a un proyectil depende fundamentalmente de la carga de proyección empleada para darle impulso y del peso del mismo) y la distribución de los mismos en las manos del tirador [7,21]. Los residuos que se depositan en las manos provienen casi exclusivamente de la parte trasera del arma; solo una pequeña fracción de los expulsados por la boca de fuego alcanzará las manos [14,21].

En la Tabla 4 se recogen las armas utilizadas en los 215 casos en los que se contó con esta información. Predomina el uso de armas *largas* (66,0 %) frente a las *cortas* (32,1 %). La predominancia de las *pistolas* en armas cortas es alta (75,4 %), y es aún más acusada en cuanto a la utilización de *escopetas* en armas largas (90,8 %).

Tabla 4. Armas utilizadas (datos de 215 casos).

Tipo de arma	<i>n</i>	%
<u>Corta</u>	<u>69</u>	<u>32,1</u>
“Antigua”	1	1,4
Bolígrafo-pistola	1	1,4
Pistola	52	75,4
Pistola de clavos de hormigón	1	1,4
Revólver	11	15,9
Pistola o revólver	1	1,4
<i>No consta</i>	2	2,9
<u>Larga</u>	<u>142</u>	<u>66,0</u>
Avancarga (trabuco)	1	0,7
Casera/fabricada	1	0,7
Escopeta	129	90,8
Rifle	10	7,0
<i>No consta</i>	1	0,7
<u>No consta</u>	<u>4</u>	<u>1,9</u>
Avancarga	1	25,0
“Atípica”	1	25,0
Casera/fabricada	1	25,0
Revólver antiguo	1	25,0

Llama la atención el uso en un caso de una pistola de clavos de hormigón. Las pistolas de clavos son herramientas utilizadas en la construcción (normalmente, para el hormigón) que pueden ser eléctricas, de gas comprimido, de combustión de gas o de pólvora. Todas ellas disparan clavos. El poder lesivo de un disparo con estas herramientas es muy grande. Las pistolas de clavos que funcionan con pólvora utilizan cartuchos provistos de fulminante y pólvora, además del clavo como proyectil. La mayoría de los fulminantes de estos cartuchos contienen plomo con bario [6,10], de tal manera que en un análisis de GSR deberían encontrarse partículas que pudieran atribuirse a la descarga de este tipo de herramienta (como así se constató).

En la Tabla 5 se recogen las municiones empleadas en 198 casos. La clasificación de la munición por calibres se hizo a partir de cómo se indicó este aspecto originalmente en los formularios.

Sin embargo, es preciso señalar que algunos calibres, aunque presenten distinto nombre, se refieren al mismo tipo de cartucho. Algunas de estas diferencias se derivan del uso del sistema métrico decimal y el sistema anglosajón de unidades. Por ejemplo, hablar del cartucho .380 ACP es lo mismo que hacerlo del 9 mm Corto, mientras que el 7.65 mm es el .32 ACP. Los cartuchos del calibre 12, 12 GA y 12/70 se refieren también al mismo cartucho (pudiendo cargar proyectil único o múltiple).

Tabla 5. Municiones empleadas, ordenadas según proyectil, calibre (*cal.*) y tipo (datos de 198 casos).

Proyectil		<i>n</i>					
Cal.	Múltiple	95	Tipo	9 mm Corto	1		
	10	1		9 mm Parabellum	14		
	12	27		No consta	20		
	.28	1		Blindado	6		
	.410	1		Semiblandado	14		
	12 GA	2		De plomo	14		
	cal. 12/70	22		Otros	2		
	No consta	41		(Clavo metálico)	(1)		
				(“Modificada”)	(1)		
				No consta	34		
Tipo	Perdigones	59	Cal.	Múltiple + Único	1		
	Postas	8			No consta	1	
	No consta	28					
Cal.	Único	70	Tipo	Cal.	Perdigones + Bala	1	
	12	2			No consta	32	
	.22	7				12	9
	.22 LR	1				.22	2
	.243 Winchester	1				.38	5
	.25	1				.45	1
	.27	1				6.35 mm	1
	.280 Remington	1				7.62 mm	2
	.30-06 Springfield	2				7.65 mm	1
	.357 Magnum	1				8 mm	1
	.38	1				9 mm	3
	.38 Special	3				9 mm Corto	2
	.380 ACP	1				9 mm Parabellum	2
	12 GA	1				cal. 12/70	2
	7.65 mm	3				“No superior a los 6 mm”	1
	9 mm	9					

En la Fig. 9 se muestra la influencia del tipo de arma en el resultado. Se han representado las dos armas cortas y las dos armas largas más encontradas.

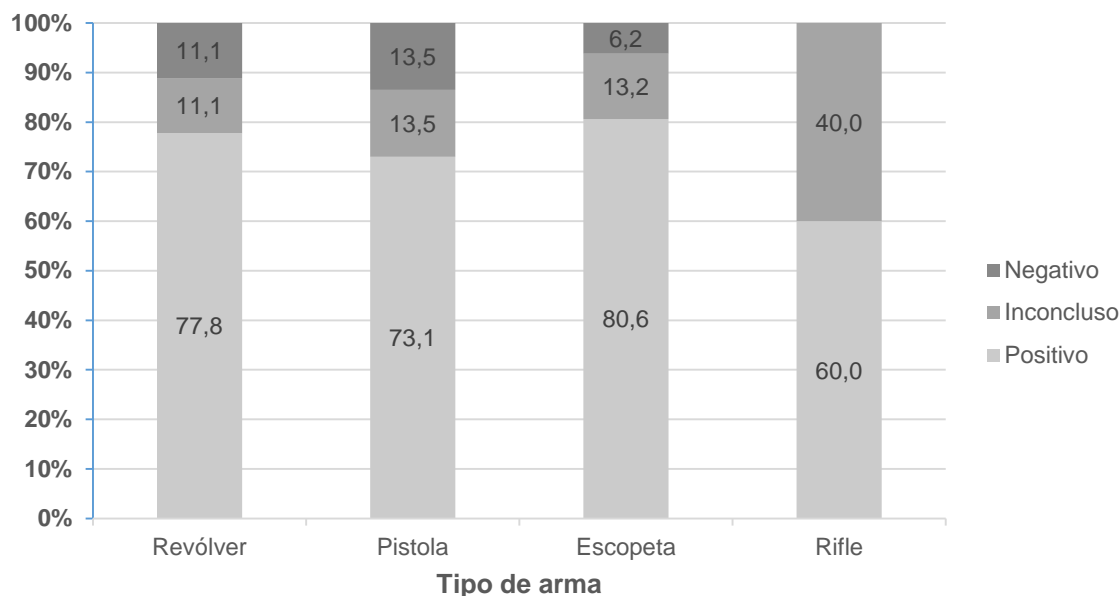


Fig. 9. Influencia del tipo de arma en el resultado.

La distribución de los residuos depende del diseño del arma [21]. En lo que respecta a armas cortas, se observa como con el uso de *revólveres* hay un mayor porcentaje de positivos (77,8 %) en comparación al uso de *pistolas* (73,1 %), pese a que no hay demasiada diferencia entre ellos. Esto se debe (teniendo en cuenta solo el tipo de arma y no la munición que pudiera cargar) a que los revólveres cuentan con muchas más aberturas que una pistola por las que puede haber expulsión de residuos, entre otros, por su sistema de carga en forma de tambor.

En cuanto a las armas largas, cabe destacar una mayor diferencia entre escopetas y rifles que entre las armas cortas anteriormente estudiadas. Por regla general, en teoría es más difícil encontrar residuos en las manos de una persona que dispara un arma de cañón largo que una de cañón corto, ya que la nube del disparo difícilmente cubrirá la mano que aprieta el gatillo, a no ser –y aquí, de nuevo, entran en juego el diseño y el mecanismo de la propia arma– que se produzca fuga de residuos por la ventana de expulsión de la vaina [21]. Esto ocurre, por ejemplo, en los rifles y las escopetas semiautomáticos, no así en los de carga manual (véase, por ejemplo, un rifle de cerrojo) o de repetición, en los que se necesita un movimiento posterior al disparo para expulsar la vaina percutida y volver a introducir el siguiente cartucho en la recámara. Sin embargo, el porcentaje de positivos obtenido para todas las armas largas es, en tér-

minos absolutos, un 4,6 % superior que para el de las armas cortas. Esto se debe a que es frecuente que sobre la mano que sujeta el cañón del arma en las proximidades de la boca de fuego sí se produzca depósito de residuos, puesto que está expuesta al depósito de la nube de gases y residuos que emerge por la boca del arma. Hay que tener en cuenta, además, cómo el sujeto coloca las manos para disparar, porque en los suicidios la persona dispara sujetando el arma de forma diferente a como lo haría si no se disparara a sí misma [11].

Cuando se dispara un rifle, la probabilidad de encontrar residuos en las manos de la persona que ha disparado es menor (60,0 % de positivos), ya que, por un lado, se trata de un arma larga y, por otro, utiliza, normalmente, cartuchos de gran potencia. Estos cartuchos provocan que la nube de gases originada en el disparo sea succionada por el proyectil en su vuelo a gran velocidad, de manera que hace que no cubra las manos de la persona que ha accionado el arma [5].

No obstante, cuando se manipula y/o dispara un arma, es bastante habitual encontrar GSR en las dos manos, ya que la propia manipulación previa al disparo las contamina. Esto fue corroborado por Molina *et al.* [11], que encontraron que, en la mayoría de los casos que fueron objeto de su estudio, el resultado fue positivo en ambas manos. En la investigación que nos ocupa, en el 55,8 % de las veces que se encontraron partículas específicas de GSR en las manos había en ambas.

En relación a esto, en la Fig. 10 se muestra el porcentaje de casos para los cuales se comprobó una distribución notoriamente desigual de la cantidad de residuos en las dos manos en función del arma empleada, observándose como en el 55,6 % se encontraron más residuos en una mano que en otra cuando el arma utilizada fue una *escopeta*. Aquí no solo entra en juego el tipo de arma, sino que, como es lógico, la manera en que se sujeta el arma (con una o dos manos y como se coloquen) también es relevante.

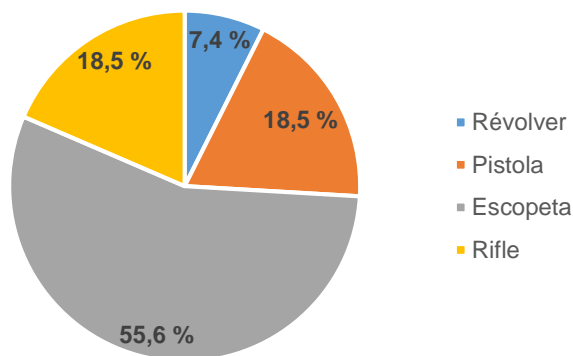


Fig. 10. Porcentaje de casos con distribución desigual de los residuos en las manos en función del arma empleada.

En la Fig. 11 se recoge la influencia del calibre de la munición en el resultado. Se han seleccionado los calibres pequeños (.22, .22 LR y 7.65 mm, columna de la izquierda) y medios (9 mm, 9 mm Corto o .380 ACP y 9 mm Parabellum, columna de la derecha) más comunes.

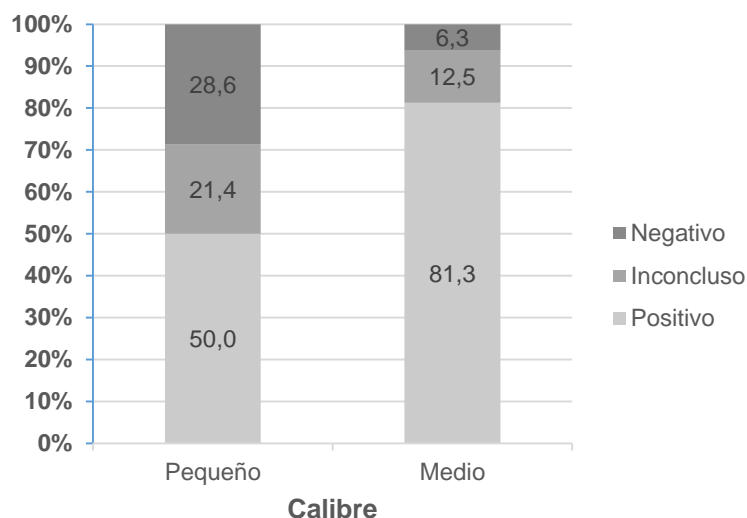


Fig. 11. Influencia del calibre de la munición en el resultado.

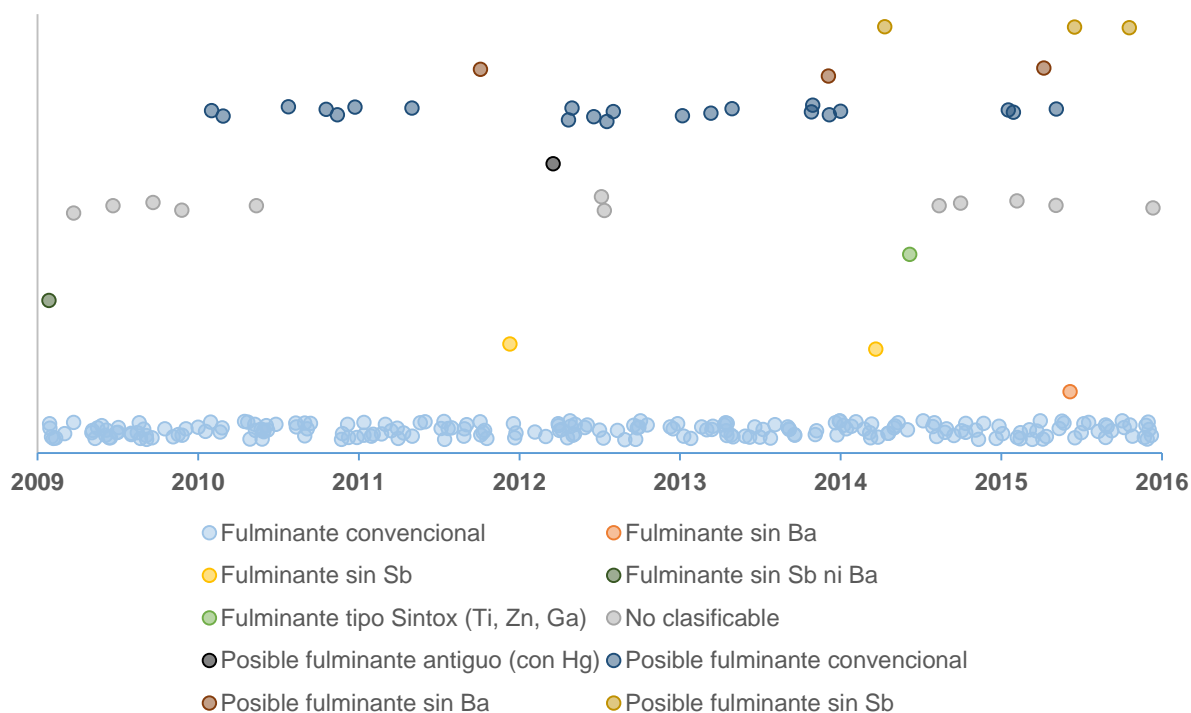
Se aprecia una incidencia mucho más acusada que respecto al tipo de arma empleado, habiéndose encontrado diferencias muy notorias en cuanto al porcentaje de positivos y negativos al pasar de calibres pequeños a medios (incremento del 38,5 % para los positivos y disminución del 78,0 % para los negativos en términos relativos). Por ejemplo, el calibre .22 es un calibre pequeño y los cartuchos de pistola de este calibre tienen poca carga de pólvora, lo que da lugar a un volumen de gases relativamente pequeño tras su deflagración. Esto hace que sea de esperar que el depósito de GSR sobre las manos y superficies próximas al arma en el momento del disparo sea mínimo o incluso inexistente.

Otras relaciones de interés encontradas se refieren a la composición química del fulminante y a la causa de la muerte. Con respecto a la primera, en la Fig. 12 se puede comprobar la predominancia absoluta de los *fulminantes convencionales* (a base de compuestos de Pb, Sb y Ba) a lo largo de los años. Esta composición representa el 82,0 % de los fulminantes encontrados (sin contar los que, por las partículas encontradas, todo parece indicar que tengan esa composición, catalogados como *posible fulminante convencional* [la cifra ascendería a 90,6 %]).

La categoría *no clasificable* corresponde a aquellos fulminantes que, si bien el resultado del análisis fue inconcluso, no pueden incluirse en otras categorías porque las partículas encontra-

das no son suficientes para permitirlo. Es importante destacar también que en todos los cartuchos con proyectil múltiple en que se pudo designar, el fulminante era convencional, mientras que los fulminantes de cartuchos de proyectil único presentan mayor variedad, habiéndose encontrado algunos sin Sb y de tipo Sintox, a base de Ti, Zn y Ga.

En cuanto a la causa de la muerte, existe una marcada relación con el tipo de arma utilizado. Aunque la mayor parte de los fallecimientos se produce por *destrucción de los centros nerviosos superiores* como causa principal (70,7 %), con independencia del arma utilizada, las causas de muerte son mucho más variadas con armas largas (como también observaron Balci *et al.* [49]), destacando las lesiones cervicales, torácicas y toracoabdominales y el shock hipovolémico³. Esto se debe a la dificultad que supone sujetar y accionar un arma de esta longitud apuntándose a sí mismo, por lo que no es infrecuente que la persona que se dispone a dispararse apoye la culata del arma en una superficie plana y se incline hacia el arma, dejando reposar su cuerpo sobre la boca de fuego [49]. Por esta razón, hasta en 8 casos se encontró en la escena un objeto auxiliar que, presumiblemente, la víctima utilizó para alcanzar el gatillo (ya sea para accionarlo con la mano o con el pie), sin que esto supusiera una variable relevante a tener en cuenta en los resultados de los análisis. En otros 2 casos se informa de la posibilidad de que el fallecido accionara el gatillo con el pie, obteniéndose en ambos un resultado inconcluso.



³ Pérdida grave de sangre que hace que el corazón sea incapaz de bombear suficiente sangre al cuerpo.

4.2.5. Condiciones de las manos

Aunque la toma de muestra se debería hacer en el levantamiento del cadáver por los motivos expuestos en apartados anteriores, cuando esto no se realiza –o no es posible– se recomienda proteger las manos de la víctima para su traslado a la sala de autopsias, procurando así minimizar la pérdida de residuos. Este apartado se refiere a dos aspectos fundamentales: la protección de las manos cuando la toma de muestra se realiza en la autopsia o se remiten los colgajos cutáneos de las manos, debiendo hacer la toma en el propio INTCF, y si las manos han sufrido algún proceso de lavado, ya sea por los servicios sanitarios, porque la toma de muestra se realizó sin dejar que el cadáver perdiera la humedad de la cámara frigorífica o incluso porque el suceso tuvo lugar al aire libre y unas condiciones climatológicas adversas, como la lluvia, pudieron influir. Estas dos variables inciden directamente en la cantidad de residuos que se van a encontrar, pudiendo incluso hacer que se pierdan.

En la Fig. 13 se recoge la influencia de la protección de las manos en el resultado, un aspecto importante a tener en cuenta como demostraron Reed *et al.* [48]. Cabe destacar que esta no debe hacerse con cualquier medio disponible, sino que es preciso llevarla a cabo con bolsas o sobres de papel, pues las bolsas de plástico presentan dos inconvenientes: por un lado, atraen electrostáticamente a los residuos; por otro lado, favorecen la aparición de humedad de condensación [6] (Trimpe [59] demostró que puede influir tanto como lo hace el lavado) e incluso la maceración de la piel, sobre todo en climas muy calurosos. La importancia capital de este punto se refleja en que en el 87,5 % de los casos en los que se usó la protección adecuada, el resultado fue positivo, mientras que solo lo fue en el 20,0 % de los casos cuando se utilizó plástico.

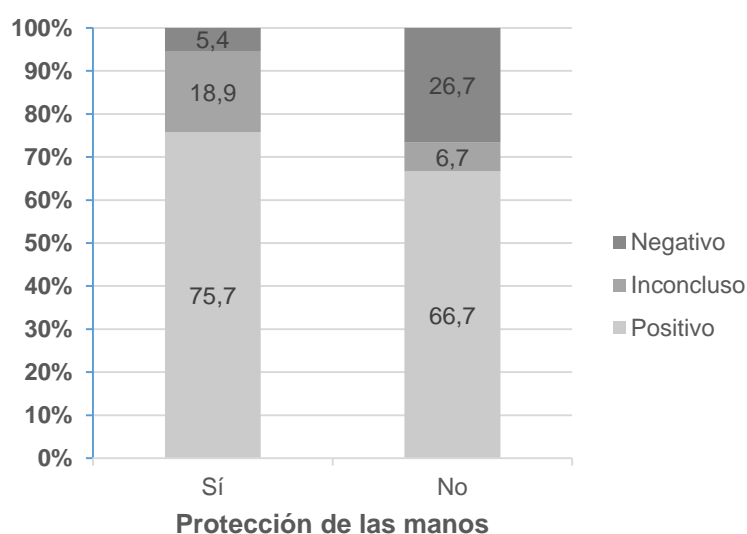


Fig. 13. Influencia de la protección de las manos en el resultado.

Se puede observar como el porcentaje de positivos decrece un 9 % en términos absolutos (Reed *et al.* [48] observaron un decrecimiento del número de positivos del 29 %), pero lo más relevante es el aumento de negativos en un 21,3 %.

La Fig. 14 muestra como el lavado de las manos influye en el resultado, pasando de un 85,4 % de casos positivos cuando *no* se lavaron las manos a un 25 % cuando se sabe que las manos *sí* sufrieron algún tipo de lavado. La columna del centro recoge los casos en los que no se puede asegurar que la toma de muestra se hiciera sobre las manos intactas, por ejemplo, porque el cadáver estuvo varios días a la intemperie y pudo haber llovido. En esos casos, el porcentaje positivos pasó a ser del 55,6 %.

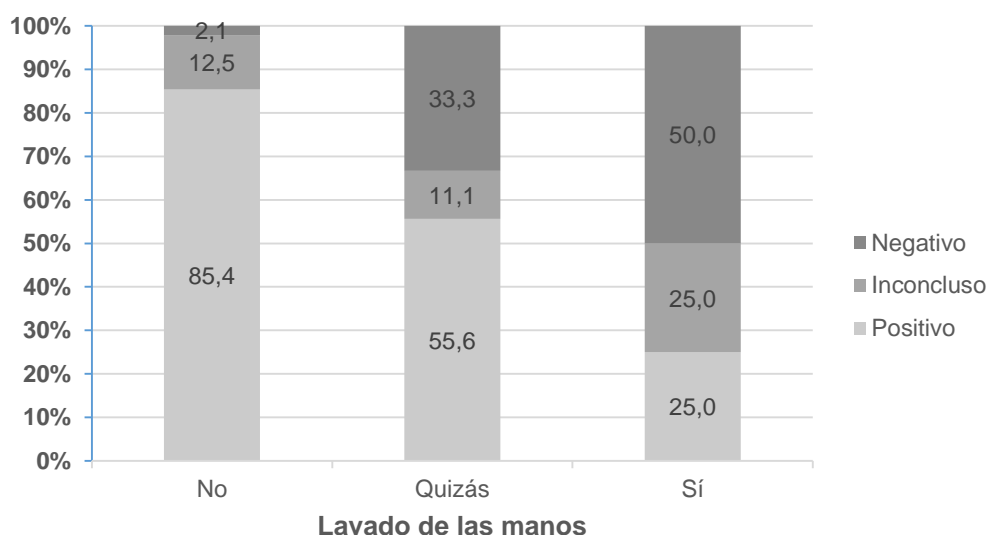


Fig. 14. Influencia del lavado de las manos en el resultado.

4.2.6. Remisión de la muestra

La manera en que se remite la muestra también influye en el resultado. Lo más adecuado es el uso del kit de disparo, pues permite la toma de muestra *in situ* y su utilización es sencilla, rápida y eficaz. Además, este dispositivo hace que no se requiera una manipulación excesiva previa de la zona a muestrear, lo cual va a minimizar la posible pérdida de residuos.

En la Fig. 15 se representa la influencia del modo de remisión de la muestra en el resultado. Se han recogido las formas de remisión más comunes, incluyendo el kit de disparo (columna de la izquierda) solo el muestreo de manos. Cuando lo que se remite es ropa o colgajos cutáneos (se representan solo los de las manos [también se remiten de las heridas]), la toma de muestra se realiza también con el kit de disparo en el INTCF.

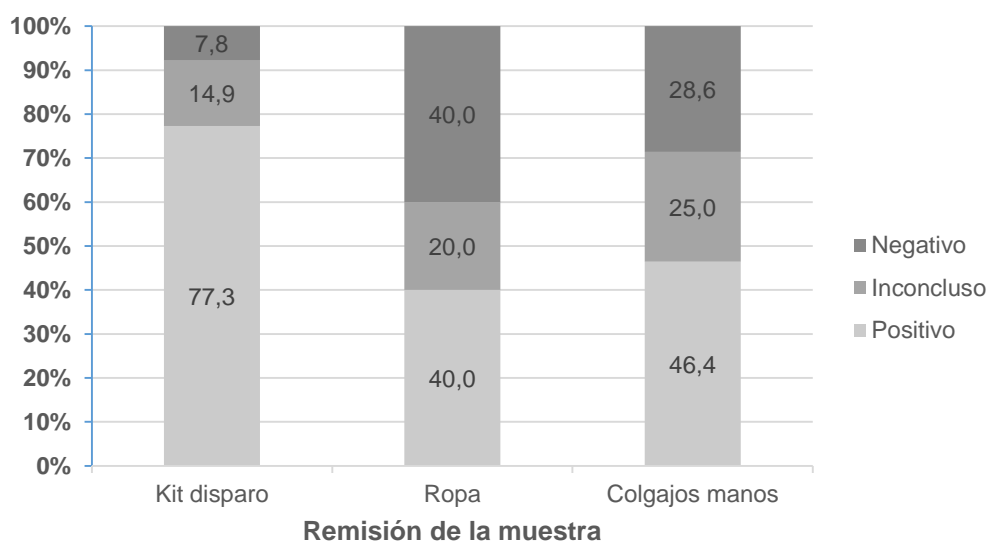


Fig. 15. Influencia del modo de remisión de la muestra en el resultado.

Se observa como el uso del *kit de disparo* es lo más adecuado (77,3 % de positivos), mientras que la remisión de *colgajos cutáneos* para analizar los residuos que pudieran presentar las manos debería evitarse (46,4 % de positivos). A pesar de las directrices marcadas, esta forma de remisión está presente en todos los años objeto de estudio de este trabajo, con un promedio de 4 casos por año. Además, como dato de interés, solo en 1 de los 46 casos en que se remitieron los colgajos cutáneos de las manos se envió la vaina percutida.

La eficacia de la toma de muestras en la ropa es variable en función de lo tupida que sea la muestra, de la capacidad de adhesividad que vaya perdiendo el portamuestras con el número de aplicaciones y la cantidad de materia indeseada (como fibras o suciedad) que retire, de la zona muestreada, etcétera. Una posible alternativa es la *concentración* de la muestra utilizando un sistema de aspiración: el método consiste en ajustar en la boquilla del aspirador un dispositivo con doble filtro, de 20 y 0,8 μm de tamaño de poro y, a continuación, hacer una toma del filtro de menor tamaño de poro de los residuos que pudiera contener con un portamuestras [14].

En la Fig. 16 se recogen, a modo comparativo, las dos zonas de muestreo con kit de disparo más comunes: manos y heridas. Se evidencia, a la vista de los resultados (77,3 % de positivos en las manos, frente a 42,9 % en las heridas), la no idoneidad de tomar los residuos de las *heridas* como zona de muestreo prioritaria, aunque sí que puede resultar interesante como apoyo adicional en el cotejo de los GSR que pudieran presentar las manos, ayudando incluso a concluir un resultado diferente al que se daría solo analizando los de estas (pero siempre interpretando los resultados con precaución) [19].

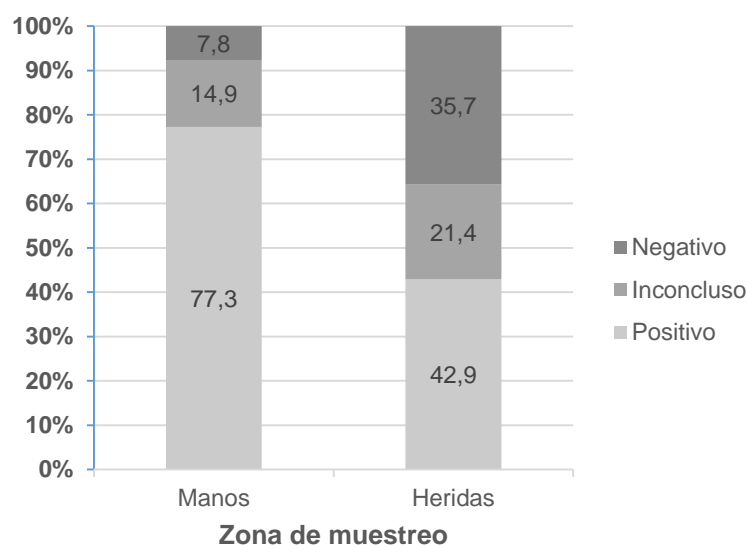


Fig. 16. Resultados según la zona muestreada con el kit de disparo.

4.2.7. Toma de muestra previa

En ocasiones, el médico forense no es el primero que realiza una toma de muestra de las manos del fallecido; las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE) que se personan en el lugar de los hechos pueden realizar una toma previa, lo que va a conllevar, inevitablemente, una reducción del número de partículas original e incluso su eliminación. Es por ello que este aspecto tiene relevancia en el resultado.

En la Fig. 17 se muestra la influencia de la toma de muestra previa en el resultado.

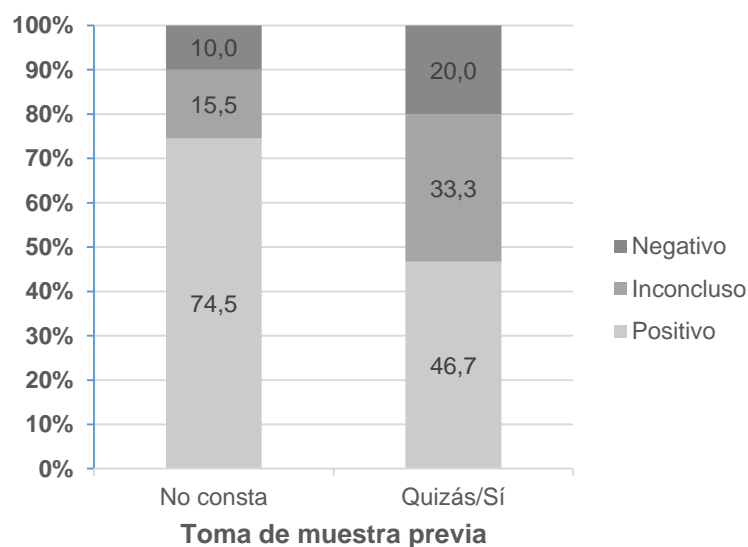


Fig. 17. Influencia de la toma de muestra previa en el resultado.

Se puede comprobar como el porcentaje de positivos pasa de un 74,5 % cuando *no* se tiene constancia de la existencia de toma previa a un 46,7 % en los casos cuyos formularios de remisión indicaban que *sí* había habido o era posible la existencia de toma de muestra previa, aumentando también en estos casos el porcentaje de resultados inconclusos y negativos.

Es fácil entender que siempre que haya asistencia médica, debería hacerse una toma de muestra previa a cualquier tipo de atención o cuidado. Sin embargo, solo en el 11,1 % de los casos en los que la víctima fue atendida por los servicios sanitarios se realizó esta operación.

La toma previa influye también en la accesibilidad que tiene el médico forense a la vaina del cartucho disparado. Tanto es así que en el 100 % de los casos en los que las FCSE tomaron muestra de las manos, el INTCF no contó con la vaina o una muestra de la misma.

4.2.8. Lugar de los hechos/Hallazgo del cuerpo

La relevancia del lugar donde se produjeron los hechos tiene que ver principalmente con la influencia que tienen las condiciones climatológicas en la posible pérdida de residuos, como demostraron Fojtášek *et al.* [60] en su estudio. Aunque se debe tener en cuenta que, de manera general, las condiciones externas que se pueden dar en lugares abiertos son más desfavorables para la persistencia de los GSR en las manos. No solo influye la meteorología, sino que también puede tener relevancia, por ejemplo, la variación de la velocidad de los fenómenos cadavéricos que puede experimentar un cadáver varios días a la intemperie o la posible manipulación de una víctima que se haya encontrado en la vía pública.

En la Fig. 18 se recogen los cinco lugares más comunes de hallazgo de los cuerpos. De ellos, el más repetido es el *domicilio/residencia* (67,3 %), seguido, muy de lejos, por el *vehículo* (8,6 %), el *campo/monte* (6,5 %), la *vía pública* (4,9 %) y los *centros de la Administración Pública* (comisarías de Policía, cuarteles...; 2,9 %). El porcentaje restante corresponde a otros lugares, tales como almacenes, garajes, lugares de trabajo, etcétera.

Se observa como en los lugares *cerrados* (tres primeras barras) el porcentaje de positivos es mayor que en los *abiertos* (dos barras siguientes), siendo muy alto el porcentaje de negativos en los sucesos producidos en la vía pública (33,3 %), aunque hay que indicar que en 3 de los 12 casos que se dieron en este lugar hubo asistencia médica. Cabe destacar también la totalidad de resultados positivos en los 7 casos que tuvieron lugar en centros de la Administración Pública (primera barra), resultados que quizá puedan estar influenciados por la exposición habitual a

GSR de los miembros de FCSE, y que por tanto se puedan deber a que haya habido contaminación con residuos de otras fuentes, ya sean anteriores disparos, transferencia de otras personas, etcétera.

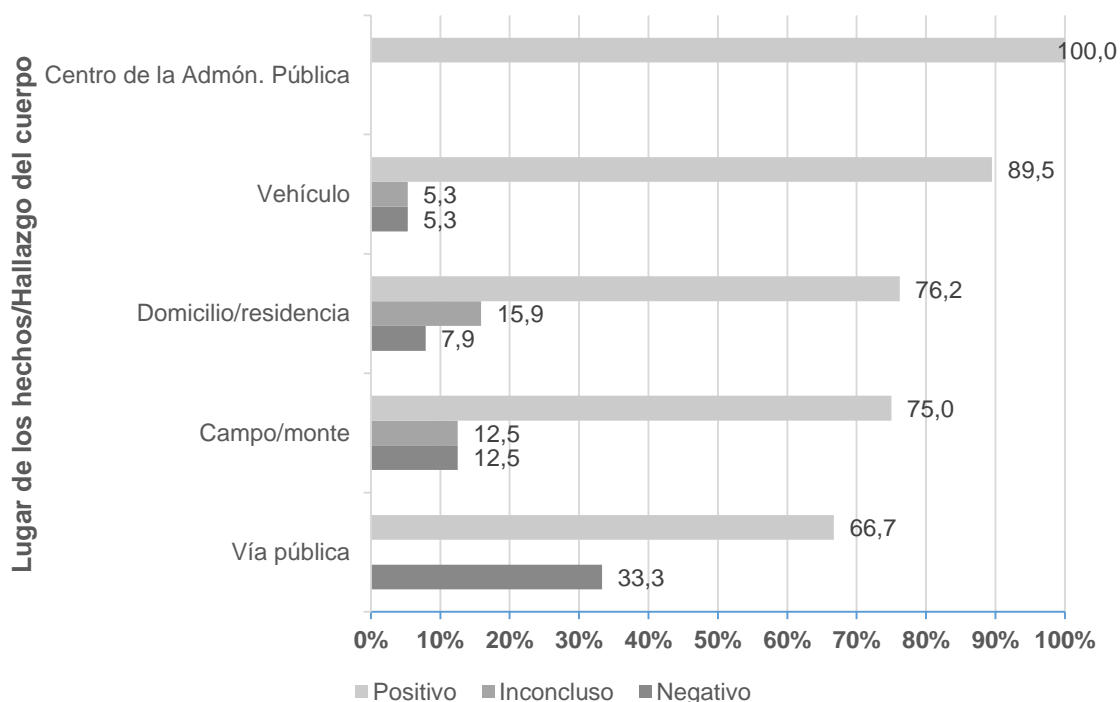


Fig. 18. Influencia del lugar donde se produjeron los hechos o se encontró el cadáver en el resultado.

4.2.9. Tiempo entre fallecimiento y toma de muestra

No cabe duda, teniendo en cuenta todo lo anterior, de la importancia de hacer la toma de muestra en el menor tiempo posible desde que se produjo el suceso.

En la Fig. 19 se representan varios intervalos temporales (ordenados de menos a más tiempo transcurrido) frente a los porcentajes de positivos, inconclusos y negativos.

Se puede apreciar un descenso del porcentaje de positivos conforme van aumentando las horas transcurridas desde que se produjo el fallecimiento hasta que se hizo la toma, manteniéndose prácticamente constante durante las 12 primeras horas (con porcentajes en torno al 100 % de positivos) y decreciendo hasta el 62,5 % entre las 16 y las 20 horas. El incremento que se da entre las 20 y las 30 horas, destacado en color verde, coincide con el tiempo promedio obtenido entre el fallecimiento y la práctica de la autopsia (25 h) y la mediana (23 h). Cabe destacar también que la tendencia decreciente no se observa en tiempos de 48 horas o más, si bien es cierto que el tamaño muestral desde las 30 horas es bastante pequeño (solo 26 casos).

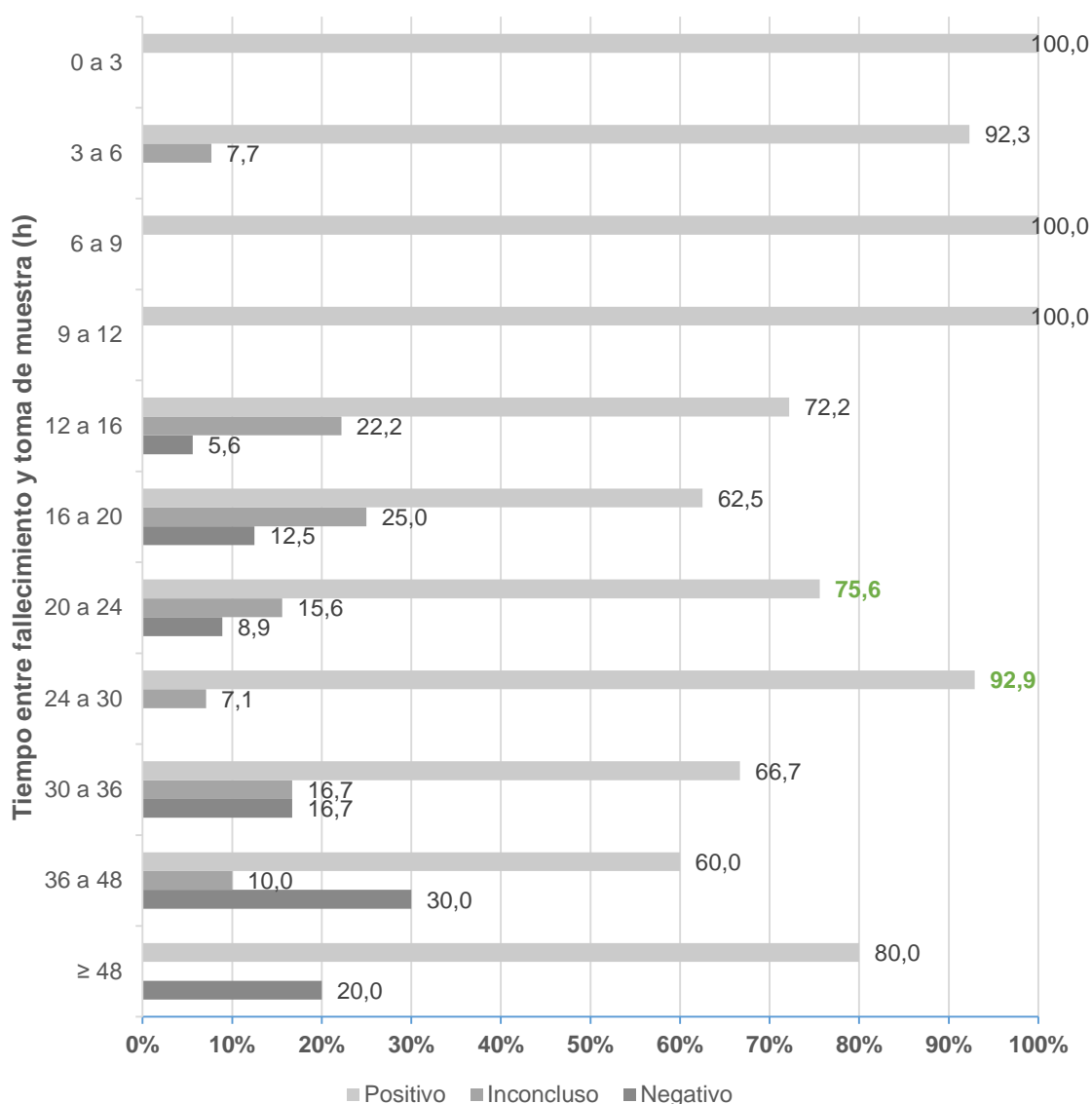


Fig. 19. Influencia del tiempo transcurrido entre el fallecimiento y la toma de muestra en el resultado.

4.2.10. Profesión del fallecido

Un último aspecto a tener en cuenta es la ocupación de la persona fallecida. Principalmente, se busca saber si la víctima ejercía una profesión que implicara un contacto habitual con armas de fuego, pues en ese caso cabe la posibilidad de pensar que los GSR que en un supuesto se encontraran podrían proceder no de la descarga del arma en el momento del suicidio, sino de posibles disparos anteriores o contactos con armas disparadas, contaminación con residuos depositados sobre otras superficies, etcétera.

Se ha hecho una división en dos grupos: *personas en posible contacto con armas* y *otras personas*. En la Tabla 6 se muestran las profesiones consideradas (datos de 113 casos).

Tabla 6. Profesiones según su posible contacto con armas (datos de 113 casos).

Profesión	<i>n</i>
<u>En posible contacto con armas</u>	<u>46</u>
Aficionado a tiro	1
Cazador	6
Guardia civil	6
Militar	5
Policía	21
Seguridad privada	6
Tirador olímpico	1
<u>Otras</u>	<u>67</u>
Desempleado/de baja	8
Ex - FCSE/Militar	2
Jubilado/Pensionista	16
Otros ⁴	41

En la Fig. 20 se representan los resultados en función de la profesión del fallecido, observándose como, a pesar de que *a priori* se pudiera pensar que el posible contacto habitual con armas puede influir aumentando el número de positivos, esto no es así. Sin embargo, sí resulta importante conocer la profesión de la víctima por lo anteriormente expuesto.

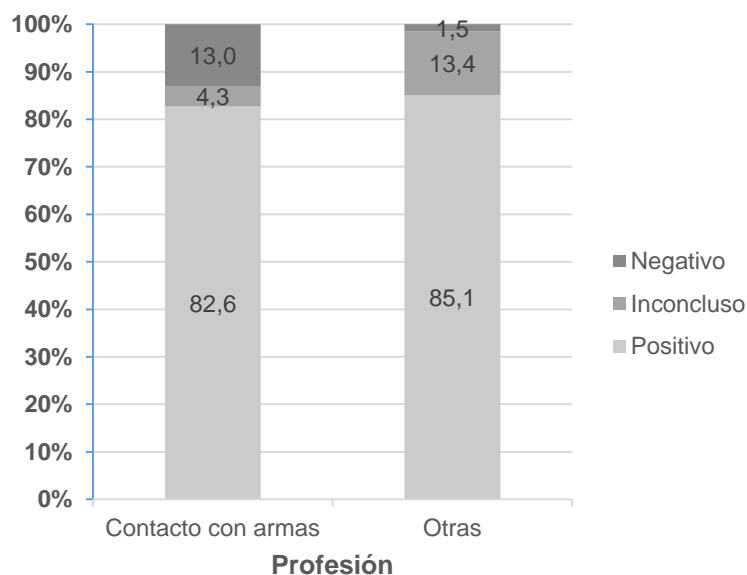


Fig. 20. Influencia de la profesión del fallecido en el resultado.

⁴ Este subgrupo engloba abogados, agricultores, comerciales, conductores, trabajadores de la construcción, electricistas, empresarios/directivos, escayolistas, estudiantes, fontaneros, trabajadores del sector hostelero, informáticos, mozos de almacén, panaderos, pescaderos, pintores, trabajadores de supermercado, vendedores y zapateros.

Cabe mencionar que, en la columna de la izquierda, el 13,0 % de negativos corresponde a 6 casos, en 2 de los cuales hubo una toma de muestra ineficiente/defectuosa, en 2 se enviaron los colgajos cutáneos de las manos, en 1 hubo ingreso hospitalario y se lavaron las manos y en 1 se señala que pudo haber toma de muestra previa. Esto demuestra, una vez más, la importancia de las variables explicadas y su interdependencia; es la sinergia de varias la que influye en el resultado.

En cuanto a qué armas utilizadas son las más comunes entre las profesiones, no es de extrañar que los *miembros de FCSE y militares* usen armas cortas (las pistolas de dotación por lo general), mientras que las armas largas son más utilizadas por *cazadores, desempleados y jubilados/pensionistas*.

4.2.11. Otros aspectos a considerar

En referencia a la mano dominante del fallecido, cabe mencionar que solo en 7 casos se cuenta con esta información; en todos ellos el resultado fue idéntico para las dos manos, y solo en 3 (42,9 %) se verificó la presencia de más residuos en la mano dominante, lo cual puede ser tenido en cuenta como una evidencia (aunque auxiliar) más.

En cuanto a la localización del arma, en 8 casos se informa de que el cadáver apareció con el arma en una de sus manos; el resultado fue idéntico para las dos manos en el 62,5 % de esos casos (5), verificándose en uno de ellos la presencia de más residuos en la mano que portaba el arma. En el 37,5 % de casos restantes (3), el resultado fue positivo solo en la mano donde se encontraba el arma.

Por último, los datos relacionados con la realización del disparo: en 3 casos se sabe que el disparo se efectuó con el pie; en 2 de ellos el resultado fue positivo en las manos y en 1, en el que se analizaron los calcetines, el resultado fue inconcluso. En 10 casos se informó de que el disparo se realizó con una de las dos manos (por ejemplo, por la existencia de espasmo cadavérico); en 8 casos el resultado fue idéntico para ambas manos y en 2 fue diferente, siendo positivo para la mano que disparó en uno y para la mano que no disparó en el otro.

4.3. Propuesta de mejoras

Este punto trata sobre la propuesta de mejoras a entidades específicas. Una vez recopilada y tratada la información, es sencillo observar cuáles son las instituciones con más margen de mejora.

En cuanto a la cumplimentación de formularios, la mayor parte de casos muy dudosos (marcados por la falta de información) proceden de los IML de Alicante (14) y Málaga (5), lo que representa el 79,2 % del total.

La remisión de una muestra de la vaina es otro punto importante a mejorar. De los casos en los que se envió (un 15,9 % del total), el 65,2 % corresponde al Instituto Vasco de Medicina Legal (IVML), seguido con un 4,3 % de los IML de Cáceres, Cádiz y Málaga.

El lugar de recogida de los residuos y el tipo de muestra remitido son los últimos aspectos a considerar en este apartado. En cuanto al primero, el 70,2 % de los casos en que los residuos se recogieron en el levantamiento corresponden al IVML, seguido de los IML de Málaga y Valladolid con un 4,3 %. En cuanto al segundo, el 46,4 % de los colgajos cutáneos de las manos que se recibieron en el INTCF procedían del IML de Alicante, seguido de un 10,7 % correspondiente al IML de Asturias.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

El estudio llevado a cabo permite extraer una serie de conclusiones, que son:

1. Existe una amplia variedad de formularios de remisión de muestra en uso. La falta de unificación de los mismos, así como su mala y/o incompleta cumplimentación, han sido el principal escollo a la hora de llevar a cabo el estudio estadístico que se pretendía en este trabajo. Estos aspectos resultan en muchísima falta de información, imposibilitando contar con todos los datos que se requerían para cada caso.
2. Se ha conseguido probar la incidencia de las distintas variables estudiadas en el resultado de un análisis de GSR, demostrando estadísticamente su mayor o menor peso y aportando una serie de dependencias que ayudarán a explicar los resultados obtenidos para cada caso concreto.
3. El resultado de un análisis de GSR no depende de una sola variable, sino que es fruto de la sinergia de muchos aspectos que hay que tener en cuenta y controlar en la medida de lo posible.
4. Los datos obtenidos del estudio llevado a cabo permiten proponer recomendaciones de buenas prácticas, que servirán para posteriores casos en los que se presuma un suicidio y, en general, involucren el uso de armas de fuego.
5. Como tendencias de futuro, y debido a que en este trabajo no se ha podido contar con la información suficiente requerida para llevarlos a cabo, serían interesantes dos estudios estadísticos:
 - a. Uno que involucrara los resultados del análisis de GSR teniendo en cuenta las características del arma empleada, para cuantificar las diferencias que existen en cuanto al uso, por ejemplo, de escopetas manuales o semiautomáticas y rifles de cerrojo o semiautomáticos.
 - b. Otro que considerara, de manera mucho más amplia y exhaustiva que lo recogido en el presente trabajo, los resultados obtenidos del análisis de GSR en las manos de tiradores sabiendo su mano dominante y cómo las colocan a la hora de sujetar y accionar distintos tipos de armas (tanto cortas como largas), lo que podría servir para saber si un análisis de GSR puede dar una idea certera de qué mano es la dominante del tirador o cuál utilizó para accionar el arma.

5.2. Recomendaciones

A partir de los datos obtenidos, se aportan una serie de recomendaciones basadas en los resultados derivados del estudio llevado a cabo:

1. Se insta a los órganos solicitantes implicados al uso de los mismos formularios de remisión de muestras. Estos formularios se encuentran contenidos en la *Orden JUS/1291/2010, de 13 de mayo, por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses* [61].
2. Se ha propuesto al Servicio de Criminalística del departamento de Madrid del INTCF una actualización del formulario de remisión contenido en el kit de disparo, que se usará junto con los citados en el punto anterior, y que se adjunta en esta memoria en el *Anexo 3*.
3. Se recomienda encarecidamente la buena cumplimentación de los formularios, así como:
 - a. El uso del kit de disparo, en el levantamiento y de manera adecuada.
 - b. De no ser posible, la protección de las manos con bolsas de papel para el traslado del cuerpo a la sala de autopsias, y hacer la toma previamente a cualquier maniobra y con las manos secas.
 - c. La remisión de una muestra del contenido de la vaina (o al menos de toda la información posible que permita identificar la munición empleada).
 - d. No enviar colgajos cutáneos de las manos como práctica habitual ni muestra principal de análisis.
 - e. La buena predisposición y la dación de facilidades por parte de los órganos remitentes cuando se precise contar con información auxiliar que pueda ser útil para la causa.

6. Bibliografía

- [1] J. Martínez-Macía, R. Espada-Valle, J.M. del Amo-Rodríguez, L. Lafont-Perelló, F. Herrero-García, M. Castilla-Oroz, Tiro, Armas y Explosivos, 2.^a ed., Dirección General de la Policía (División de Formación y Perfeccionamiento), España, 1994, pp. 19, 28-33, 61-78.
- [2] J.I. Thornton, The chemistry of death by gunshot, *Anal. Chim. Acta.* 288 (1994) 71-81.
- [3] Á. Molina-López, La Cartuchería de las Armas Ligeras, Ministerio de Defensa (Secretaría General Técnica), España, 1988, pp. 23-25, 31-33, 39-49, 53-71, 77.
- [4] B.P. Kneubuehl (Ed.), Wound Ballistics: Basics and Applications, translation of the revised third German edition (2008), Springer-Verlag, Berlín, Alemania, 2011, pp. 33-55, 67, 68.
- [5] J.S. Wallace, Chemical Analysis of Firearms, Ammunition, and Gunshot Residue, CRC Press, Boca Ratón, Florida, 2008, pp. 35-89, 91, 97-100, 111-114, 124, 125, 131, 157-160.
- [6] B.J. Heard, Handbook of Firearms and Ballistics: Examining and Interpreting Forensic Evidence, 2.^a ed., John Wiley & Sons Ltd, Reino Unido, 2008, pp. 43-94, 251, 252, 345.
- [7] H.H. Meng, B. Caddy, Gunshot residue analysis - A review, *J. Forensic Sci.* 42 (1997) 553-570.
- [8] Perdigones. <http://www.municion.org/tipos/Perdigons.htm> (consultado 25.07.16).
- [9] Diferencia perdigones y postas: el doble cero. <http://armamentocazay-tiro.blogspot.com.es/2015/03/perdigones-y-postas-el-doble-cero.html>, 2015 (consultado 25.07.16).
- [10] SWGGSR, Guide for Primer Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry, 2011, pp. 6, 12, 16-27, 50, 79.
- [11] D.K. Molina, M. Martinez, J. Garcia, V.J.M. DiMaio, Gunshot residue testing in suicides - Part I: Analysis by scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray, *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 28 (2007) 187-190.
- [12] L. Gunaratnam, K. Himberg, The identification of gunshot residue particles from lead-free Sintox ammunition, *J. Forensic Sci.* 39 (1994) 532-536.
- [13] SINTOX® - Undisputed No. 1 in the non-toxic priming technology. <http://www.ruag.com/ammotec/defence-and-law-enforcement/further-information/sintox-primers/>, 2016 (consultado 27.07.16).
- [14] O. Dalby, D. Butler, J.W. Birkett, Analysis of gunshot residue and associated materials - A review, *J. Forensic Sci.* 55 (2010) 924-943.
- [15] J. Polovková, M. Šimonič, I. Szegényi, Study of gunshot residues from Sintox® ammunition containing marking substances, *Egypt. J. Forensic Sci.* 5 (2015) 174-179.
- [16] F.S. Romolo, P. Margot, Identification of gunshot residue: a critical review, *Forensic Sci. Int.* 119 (2001) 195-211.

- [17] S. Basu, Formation of gunshot residues, *J. Forensic Sci.* 27 (1982) 72-91.
- [18] A. Jamieson, A. Moenssens, *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*, John Wiley & Sons Ltd, Reino Unido, 2009, pp. 1189, 1193.
- [19] Summary of the FBI Laboratory's Gunshot Residue Symposium, May 31 - June 3, 2005. https://www2.fbi.gov/hq/lab/fsc/backissu/july2006/research/2006_07_research01.htm, 2006 (consultado 6.08.16).
- [20] Z. Brožek-Mucha, Comparison of cartridge case and airborne GSR - A study of the elemental composition and morphology by means of SEM-EDX, *X-Ray Spectrom.* 36 (2007) 398-407.
- [21] H. Ditrich, Distribution of gunshot residues - The influence of weapon type, *Forensic Sci. Int.* 220 (2012) 85-90.
- [22] L.R. Moreno-González, *Balística Forense*, 4.^a ed., Porrúa, Ciudad de México, México, 1987, pp. 75-89.
- [23] M.J. Moorcroft, J. Davis, R.G. Compton, Detection and determination of nitrate and nitrite: a review, *Talanta.* 54 (2001) 785-803.
- [24] ¿Pero qué es realmente la prueba de la parafina? <http://www.abc.es/espana/20140514/rc-pero-realmente-prueba-parafina-201405140052.html>, 2014 (consultado 29.07.16).
- [25] J.B.F. Lloyd, Liquid chromatography of firearms propellants traces, *J. Eng. Mater.* 4 (1986) 239-271.
- [26] A.J. Schwoeble, D.L. Exline, *Current Methods in Forensic Gunshot Residue Analysis*, CRC Press, Boca Ratón, Florida, 2000.
- [27] R.D. Koons, Analysis of gunshot primer residue collection swabs by inductively coupled plasma-mass spectrometry, *J. Forensic Sci.* 43 (1998) 748-754.
- [28] G.M. Wolten, R.S. Nesbitt, A.R. Calloway, G.L. Loper, P.F. Jones, Final report on particle analysis for gunshot residue detection, report ATR-77(7915)-3, The Aerospace Corporation, El Segundo, California, 1977.
- [29] ENFSI EWG Firearms/GSR, ENFSI - Guide for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy-Dispersive X-ray Spectrometry, 2008.
- [30] ASTM International, ASTM E1588-10 - Standard Guide for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry, 2010.
- [31] B. Burnett, The form of gunshot residue is modified by target impact, *J. Forensic Sci.* 34 (1989) 808-822.
- [32] D. Laza, B. Nys, J.D. Kinder, A. Kirsch-De Mesmaeker, C. Moucheron, Development of a quantitative LC-MS/MS method for the analysis of common propellant powder stabilizers in gunshot residue, *J. Forensic Sci.* 52 (2007) 842-850.

- [33] C. Torre, G. Mattutino, V. Vasino, C. Robino, Brake linings: a source of non-GSR particles containing lead, barium, and antimony, *J. Forensic Sci.* 47 (2002) 494-504.
- [34] S. Charles, B. Nys, N. Geusens, Primer composition and memory effect of weapons - Some trends from a systematic approach in casework, *Forensic Sci. Int.* 212 (2011) 22-26.
- [35] A. Zeichner, N. Levin, More on the uniqueness of gunshot residue (GSR) particles, *J. Forensic Sci.* 42 (1997) 1027-1028.
- [36] L. Garofano, M. Capra, F. Ferrari, G.P. Bizzaro, D. Di Tullio, M. Dell'Olio, *et al.*, Gunshot residue - Further studies on particles of environmental and occupational origin, *Forensic Sci. Int.* 103 (1999) 1-21.
- [37] B. Burnett, Errors in gunshot residue assessment by scanning electron microscopy/elemental analysis in criminal cases: III. Friction-brake particles assigned as "highly specific" gunshot residue particles. <http://www.meixatech.com/MISTAKES3.pdf>, 2007 (consultado 31.07.16).
- [38] R.E. Berk, Automated SEM/EDS analysis of airbag residue. II: Airbag residue as a source of percussion primer residue particles, *J. Forensic Sci.* 54 (2009) 69-76.
- [39] T. Jalanti, P. Henchoz, A. Gallusser, M.S. Bonfanti, The persistence of gunshot residue on shooters' hands, *Science & Justice.* 39 (1999) 48-52.
- [40] J. French, R. Morgan, An experimental investigation of the indirect transfer and deposition of gunshot residue: further studies carried out with SEM-EDX analysis, *Forensic Sci. Int.* 247 (2015) 14-17.
- [41] Z. Brožek-Mucha, On the prevalence of gunshot residue in selected populations - An empirical study performed with SEM-EDX analysis, *Forensic Sci. Int.* 237 (2014) 46-52.
- [42] M.R. Rijnders, A. Stamouli, A. Bolck, Comparison of GSR composition occurring at different locations around the firing position, *J. Forensic Sci.* 55 (2010) 616-623.
- [43] D. DeGaetano, J.A. Siegel, K.L. Klomparens, A comparison of three techniques developed for sampling and analysis of gunshot residue by scanning electron microscopy/energy-dispersive X-ray analysis (SEM-EDX), *J. Forensic Sci.* 37 (1992) 281-300.
- [44] A. Pérez-Cao, C. Valero-Abad, Presentación del dispositivo de recogida de residuos de disparo diseñado por la Sección de Criminalística del Instituto de Toxicología, *Cuadernos de Medicina Forense.* 23 (2001) 15-21.
- [45] J.I. Goldstein, D.E. Newbury, D.C. Joy, C.E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, *et al.*, Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, 3.^a ed., Springer Science + Business Media LLC, Nueva York, Estados Unidos de América, 2003, pp. 1, 11, 75-77.
- [46] D.A. Skoog, F.J. Holler, S.R. Crouch, Principios de Análisis Instrumental, 6.^a ed., Cengage Learning, Ciudad de México, México, 2008, pp. 607-613.

- [47] R.L. Singer, D. Davis, M.M. Houck, A survey of gunshot residue analysis methods, *J. Forensic Sci.* 41 (1996) 195-198.
- [48] G.E. Reed, P.J. McGuire, A. Boehm, Analysis of gunshot residue test results in 112 suicides, *J. Forensic Sci.* 35 (1990) 62-68.
- [49] Y. Balci, G. Canogullari, E. Ulupinar, Characterization of the gunshot suicides, *J. Forensic Leg. Med.* 14 (2007) 203-208.
- [50] Constitución Española. BOE núm. 311, de 29 de diciembre de 1978.
- [51] Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal. BOE núm. 281, de 24 de noviembre de 1995.
- [52] R. Bugarín-González, B. Seoane-Díaz, El certificado médico de defunción, *Galicia Clin.* 75 (2014) 12-16.
- [53] El certificado médico de defunción. <http://www.lexsanitaria.com/el-certificado-medico-de-defuncion/>, 2012 (consultado 24.07.16).
- [54] Real decreto de 14 de septiembre de 1882 por el que se aprueba la Ley de Enjuiciamiento Criminal. BOE núm. 260, de 17 de septiembre de 1882.
- [55] Ley 20/2011, de 21 de julio, del Registro Civil. BOE núm. 175, de 22 de julio de 2011.
- [56] INE, Estadística de Defunciones por Causa de Muerte del año 2013. <http://www.ine.es/prensa/np896.pdf>, 2015 (consultado 23.07.16).
- [57] Fundación Salud Mental España para la prevención de los trastornos mentales y el suicidio, Suicidios en España: Estadísticas del año 2013. https://issuu.com/fundacionsaludmentalespana/docs/espa__a_-suicidios_2013-, 2015 (consultado 23.07.16).
- [58] D. DeGaetano, L.G. Harrison, GSR by SEM/EDX at the commonwealth of Virginia - Ten years of data from spreadsheet to database. Presentado en SCANNING, Washington D.C., 2004.
- [59] M.A. Trimpe, A review of gunshot residue test results in 80 suicide cases. Presentado en el mitin de la Academia Americana de Ciencias Forenses, Nueva York, 1997.
- [60] L. Fojtášek, J. Vacínová, P. Kolář, M. Kotrlý, Distribution of GSR particles in the surroundings of shooting pistol, *Forensic Sci. Int.* 132 (2003) 99-105.
- [61] Orden JUS/1291/2010, de 13 de mayo, por la que se aprueban las normas para la preparación y remisión de muestras objeto de análisis por el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses. BOE núm. 122, de 19 de mayo de 2010.

Anexos

1. Espectro EDX de una partícula de GSR

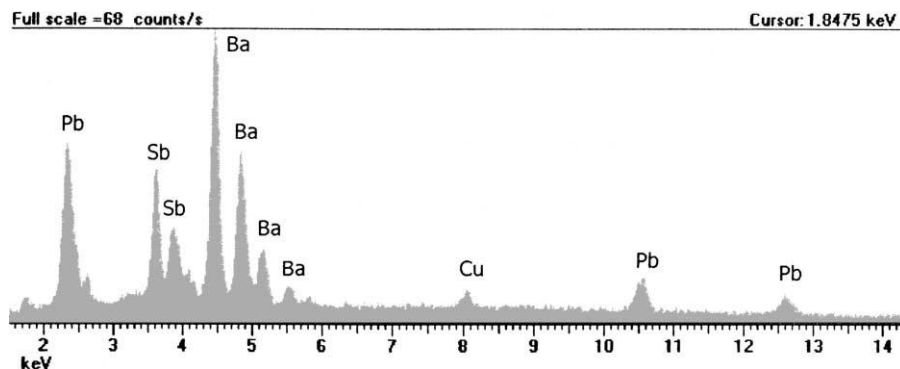


Fig. 21. Espectro EDX de una partícula de GSR de munición blindada Fiocchi cal. 7.65 mm.
Tomada de Romolo y Margot [16].

2. Artículos 143 y 195 del Código Penal

Art. 143 (Libro II, título I del CP: del homicidio y sus formas)

1. *El que induzca al suicidio de otro será castigado con la pena de prisión de cuatro a ocho años.*
2. *Se impondrá la pena de prisión de dos a cinco años al que coopere con actos necesarios al suicidio de una persona.*
3. *Será castigado con la pena de prisión de seis a diez años si la cooperación llegara hasta el punto de ejecutar la muerte.*
4. *El que causare o cooperare activamente con actos necesarios y directos a la muerte de otro, por la petición expresa, seria e inequívoca de éste, en el caso de que la víctima sufriera una enfermedad grave que conduciría necesariamente a su muerte, o que produjera graves padecimientos permanentes y difíciles de soportar, será castigado con la pena inferior en uno o dos grados a las señaladas en los números 2 y 3 de este artículo.*

Art. 195 (Libro II, título IX del CP: de la omisión del deber de socorro)

1. *El que no socorriere a una persona que se halle desamparada y en peligro manifiesto y grave, cuando pudiese hacerlo sin riesgo propio ni de terceros, será castigado con la pena de multa de tres a doce meses.*
2. *En las mismas penas incurrirá el que, impedido de prestar socorro, no demande con urgencia auxilio ajeno.*
3. *Si la víctima lo fuere por accidente ocasionado fortuitamente por el que omitió el auxilio, la pena será de prisión de seis meses a 18 meses, y si el accidente se debiere a imprudencia, la de prisión de seis meses a cuatro años.*

3. Hoja de recogida de datos del kit de disparo

- Nombre del sujeto
- Profesión (importante)
- Juzgado
- D.P. / Sumario
- Lugar donde se produjeron los hechos
- Hora del suceso
- Hora de recogida de los residuos del disparo
- Actividad realizada por el sujeto entre el disparo y la recogida
- ¿Se ha lavado las manos? SÍ ☐ NO ☐ QUIZÁS ☐
- En caso de tratarse de un cadáver, ¿se han protegido las manos? SÍ ☐ NO ☐
- Posible etiología
- Arma utilizada
- Calibre
- Proyectoil: **Único** ☐ **Múltiple** ☐ **Otros** ☐
 - Blindado ☐

Perdigones

 |

Postas

 - Semiblandado ☐ De plomo ☐
 - De plomo ☐ De acero ☐
- Inscripción del Cartucho / Vaina
- ¿Dónde se recogen los residuos del disparo? (levantamiento, autopsia...)
- ¿Se ha recogido muestra de la Vaina? (indicar quién) SÍ ☐ NO ☐
- Persona que hace la recogida de residuos
- Observaciones (anomalías, toma de muestra previa...)
- Número reseñado en la bolsa de precinto



INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS POLICIALES

Facultad de Derecho. Universidad de Alcalá
Libreros, 27, planta baja. 28801 Alcalá de Henares (Madrid)
<https://iuicp.uah.es>